

626.1  
А-44  
А44

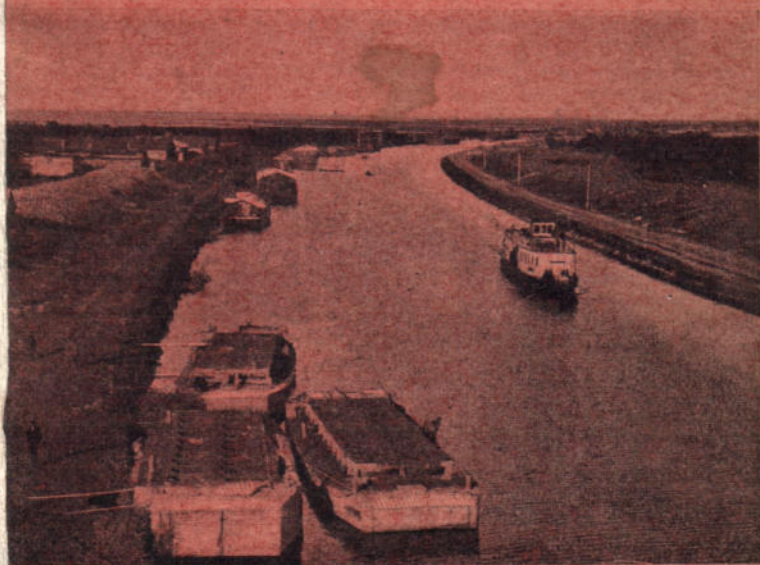
# ДОХОДНЫЕ КАНАЛЫ И ИХЪ УСТРОЙСТВО.

СОСТАВИЛЪ

Инженеръ Путей Сообщенія

**Н. А. Акуловъ.**

Проектъ Кіевскаго Политехническаго Института Императора  
Александра II и преподаватель Института Инженеровъ  
Путей Сообщенія Императора Александра I.



Съ 214 чертежами.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Издание К. Л. Риккера.  
1912.



**Строительное искусство.** Руководство, принятое в Инст. Гражданск. Инженеровъ Имп. Николая I. **В. И. Радивановскаго.** Работы: земляныя, фашиныя, каменные, бетонныя, деревянныя, свайныя, металлическія, штукатурныя и малярныя, 3 исправ. и дополн. изданіе. 1907, IV+342 стр. съ 1025 чертежами. п. 6 р., въ перел. 6 р. 80 к.

**Строительное искусство.** Курсъ Николаевскаго инженернаго училища, сост. **Э. Ю. Лундбергъ.** Ч. I. Матеріалы и работы. 2-ое изданіе. IV+134 стр. съ 300 черт. 1905, п. 1 р. 80 к.

Изъ отзыва въ №№ 10 и 11 журнала «Техническій Сборникъ и Вѣстникъ Промышленности», за 1905 г.: «Эго практическое руководство изложено кратко и въ то же время обстоятельно; въ немъ нѣтъ математическихъ выкладокъ, зато текстъ сопровождается множествомъ объяснительныхъ, хорошо выполненныхъ чертежей»...

**Зданія и сооруженія СПБ. Ольгинскаго дѣтскаго пріюта трудолюбія.** Сост. гражданскій инженеръ **М. Гейслеръ.** 1901, п. 5 р.

Роскошный альбомъ въ 46 таблицъ архитектурныхъ деталей дешевыхъ деревянныхъ и каменныхъ сооруженій СПБ. Ольгинскаго дѣтскаго пріюта трудолюбія, фасада ихъ, разрывы, планы расположенія базокъ и крышъ; детали зданій, ограды и заборы.

**Полный карманный техникъ.** Справочн. книжка для инж., мех., архитект., фабрикант., техн. и студ. съ кратк. техн. словаремъ на 4-хъ языкахъ. Сост. **С. Н. Ванковъ.** 2-ое испр. и дополн. изд. 845 стр. съ 194 черт. 1908, п. въ кож. перел. 3 р.

**Проектирование и подсчеты по устройству отопленія и вентилациі** въ жилыхъ домахъ и общ. зданіяхъ. **О. Вилпрехта.** Перев. съ 2 нѣм. изд. инж. мех. **Л. Я. Бершадскаго.** Съ 15 черт. 1903, п. 91 к., въ пер. 1 р. 30 к.

**Краткое руководство къ спеціальной архитектурѣ и инженерному дѣлу.** Для помощниковъ архитект. и инженеровъ сост. инж. **В. А. Фишеръ.** Текстъ VIII+487 стр. съ отдѣльн. атласомъ, въ 30 табл., 1898, п. 8 р., въ изданіи переплетъ 9 р. 60 к.

Трудъ этотъ представляетъ учебникъ для готовящихся на званіе техника вѣдомства Мин. Пут. Сообщ. и приуроченъ къ программамъ, утвержденнымъ названнымъ министерствомъ. Весь матеріалъ подраздѣленъ на два отдѣла. Спеціальная архитектура и Инженерное дѣло. Въ 1 отд. описаны: отопленіе и вентилациія зданій; водоснабженіе; санитарная техника; освѣщеніе; громозтоводъ; обществ. зданія и службы; во 2 отд. мосты и дороги, рѣчныя и морскія сооруженія. Въ общемъ книга эта производитъ приятное впечатлѣніе какъ по внѣшнему виду своему, такъ и по содержанію. На 480 стр. хотя убористой, но четкой печати собрано о всѣхъ предметахъ строп. искусства и притомъ въ нѣкот. случаяхъ достаточно подробно, съ описаніемъ работъ поздн. времени. Текстъ изложенъ довольно сжато и ясно. Книгу смѣло можно рекомендовать въ бібліотеки нашихъ саперныхъ баталіоновъ.

«Инженерный журналъ» 1899, №№ 5 и 6.

**Азбука орнамента.** Составилъ зав. худож.-ремесленн. учебной мастерской въ Нахичевани **С. Недлеръ.** IV+36 стр. съ 48 рис. 1910, п. 50 к.

**Руководство къ составленію смѣтъ и технической отчетности.** Справочная книга для строителей. Составилъ инж.-арх. **П. О. Сальмоновичъ.** Ч. I. Общія начала смѣтныхъ расчетовъ. 4 исправ. и дополн. изд. **А. Е. Бѣлого** и **В. И. Шуберскаго.** изданіе. 1907, III+527 стр., п. 4 руб. Ч. II. Нормальные данные и опытные выводы для расцѣнки строительныхъ работъ. Отдѣлъ инженерныхъ работъ, 4-е изданіе. VII+456 стр. съ прилож. 3 табл. чертежей. 1910, п. 3 р. Часть III. Отдѣлъ общихъ работъ. 3 изд. Съ 27 черт. 1903, п. 3 руб.

**Руководство къ проектированію каменныхъ арочныхъ мостовъ.** **Г. Толкимитта.** Перев. съ 2 нѣм. изд. инж. **С. А. Прокофьева.** VI+106 стр. съ 39 черт. 1903, п. 1 р. 40 к.

**Желѣзные части зданій.** Руководство для техническихъ школъ и пособие для практическаго пользованія проф. **Р. Лауэнштейна.** Переводъ со 2 нѣм. изданія подъ ред. и съ дополненіями проф. **В. Г. Тюринна** и **Г. Г. Кривошеина.** VIII+318 стр. съ 542 фиг. въ текстѣ и 5 листами чертежей. 1902, п. 3 р., въ пер. 3 р. 50 к.

**Расчетъ желѣзобетонныхъ конструкций.** Проф. **Г. Кривошеина.** VI+60 стр. съ 43 фиг. 1912, п. 90 к.

**Металлическое покрытіе,** его расчетъ и конструкція съ приложеніемъ табл. для расчета металлических покрытій и чертежей нѣкоторыхъ деталей конструкціи послѣднихъ. Сост. инж. **Н. А. Рынинъ.** IV+107 стр. съ 94 черт. и 3 табл. черт. 1905, п. 2 р., въ перел. 2 р. 50 к.

Въ общемъ работа **Н. А. Рынина** принесетъ несомнѣнно пользу тому кругу читателей для котораго она назначена, помимо конструктивной стороны авторъ знакомитъ съ правильными методами расчета желѣзн. конструкций, учитывая вліяніе всѣхъ дѣйствующихъ силъ какъ на само покрытіе, такъ и на его детали. Въ разсматриваемомъ сочиненіи

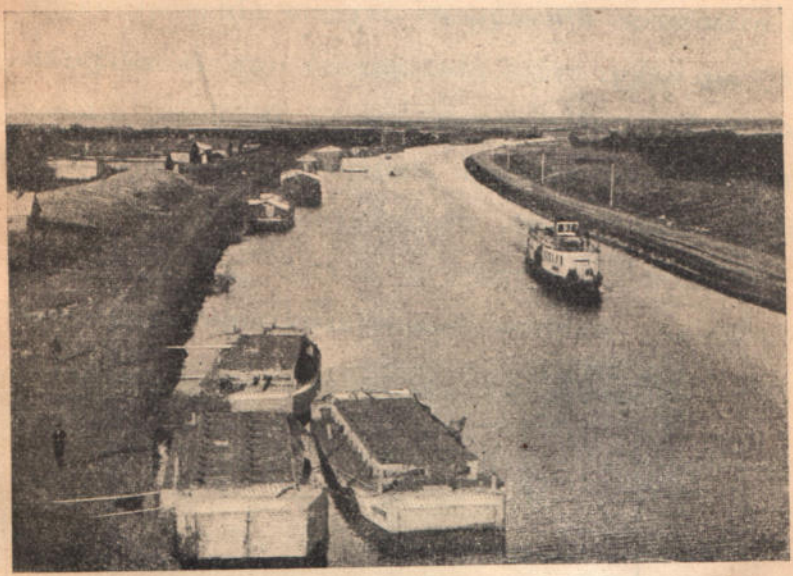


У 626.1  
А-44

# СУДОХОДНЫЕ КАНАЛЫ И ИХЪ УСТРОЙСТВО.

СОСТАВИЛЪ  
Инженеръ Путей Сообщенія  
**К. А. Акуловъ.**

Адъюнктъ Кіевскаго Политехническаго Института Императора  
Александра II и преподаватель Института Инженеровъ  
Путей Сообщенія Императора Александра I.



Съ 214 чертежами.

проверено  
1900 г.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Изданіе К. Л. Риккера.  
1912.

1830  
Гидрометрический  
Институтъ въ Кіевѣ

и да ✓



1830

Типогр



## ПРЕДИСЛОВІЕ.

---

Настоящій трудъ имѣетъ своей цѣлью познакомить читателей какъ съ устройствомъ существующихъ уже судоходныхъ каналовъ за границею и у насъ въ Россіи, такъ и съ тѣми требованіями, которыми слѣдуетъ руководиться для раціональнаго проектированія новыхъ сооружений подобнаго рода. Главнымъ матеріаломъ при составленіи этого труда послужилъ для автора весьма стройный по изложенію и богатый по содержанію курсъ проф. De Mas'a „Canaux“, причемъ онъ былъ въ значительной мѣрѣ пополненъ свѣдѣніями изъ другихъ источниковъ, какъ иностранныхъ, такъ и русскихъ, для большей ясности и полноты изложенія трактуемаго вопроса.

---



## ИЗВЕЩАНИЕ

Известно, что в настоящее время в России, как и во всех других странах, наблюдается значительное увеличение количества преступлений, совершаемых гражданами. Это связано с различными факторами, в том числе с экономическими, социальными и культурными. В связи с этим становится необходимым усиление мер по предупреждению преступлений и повышению ответственности граждан. Для этого необходимо проводить различные мероприятия, направленные на воспитание гражданственности и уважения к закону. Кроме того, важно совершенствовать законодательство и систему правосудия, чтобы обеспечить эффективное наказание виновных и защиту прав граждан. Только комплексный подход к решению этой проблемы позволит снизить уровень преступности и создать более безопасное общество.



# СОДЕРЖАНІЕ.

## Глава I. Введеніе. Поперечное сѣченіе канала.

стр.

Поперечное сѣченіе канала, Увеличеніе ширины въ кривыхъ. Бичевники . . . . . 1—20

## Глава II. Трассировка каналовъ.

Трассировка каналовъ. Боковые каналы. Каналы съ раздѣльной точкой. Выемка или тоннель. Тоннели въ раздѣльныхъ бѣефахъ. Сопротивленіе движенію судовъ въ тоннеляхъ . . . . . 20—33

## Глава III. Сооруженія при встрѣчѣ каналовъ съ грунтовыми путями сообщенія.

Неподвижные мосты. Подвижные мосты. Вращающіеся мосты. Нижнее строеніе моста. Подъемные мосты. Мосты подъ каналами . . . . . 33—44

## Глава IV. Сооруженія при пересѣченіяхъ каналовъ съ текучими водами.

Водосливы. Водопроводы. Водосливы въ уровнѣ нормальнаго горизонта. Мосты-каналы. Русло и бичевникъ мостовъ-каналовъ. Непроницаемость въ мѣстѣ соединенія каменной кладки съ насыпью. Мосты-каналы изъ металла. Пересѣченіе рѣкъ каналами въ одномъ съ ними уровнѣ. Мосты-рѣки . . . . . 44—61

## Глава V. Судоподъемники и наклонныя плоскости.

Судоподъемники съ подъемной машиной. Гидравлическіе судоподъемники. Маневры въ верхнемъ положеніи камеры № 1. Маневры въ нижнемъ положеніи камеры № 2. Судоподъемникъ на поплавкахъ. Наклонныя плоскости для перемѣщенія судовъ въ сухомъ видѣ. Наклонныя плоскости для перемѣщенія судовъ въ плавающимъ состояніи. Наклонная плоскость Black-Hill. Наклонныя плоскости съ поперечнымъ перемѣщеніемъ. Сравненіе различныхъ способовъ перемѣщенія судовъ при большихъ паденіяхъ . . . . . 61—82

## Глава VI. Расходъ воды въ каналахъ.

Полезный расходъ. Нормальный расходъ въ шлюзахъ. Сберегательные бассейны шлюзовъ канала Charlevoix въ Брюсселѣ. Цилиндрическіе затворы двойнаго дѣйствія. Другіе примѣры сберегательныхъ бассейновъ. Другіе способы уменьшенія расхода воды въ шлюзахъ. Расходъ воды въ судоподъемникахъ и наклонныхъ плоскостяхъ. Утечки черезъ шлюзные ворота. Потери вслѣдствіе испаренія. Потери вслѣдствіе фильтраціи. Потери вслѣдствіе неправильныхъ маневровъ. Компенсирующіе боковые каналы. Автоматическое питаніе. Случайныя потери. Предосторожности при исполненіи земляныхъ работъ. Выемки въ плотномъ грунтѣ. Выемки въ глинистомъ грунтѣ.



Исправленіе сползовъ въ глинистыхъ выемкахъ. Мѣры предосторожности при возведеніи насыпей. Работы по достиженію непроницаемости. Мѣстныя, видимыя глазомъ потери. Потери въ мѣстѣ соединенія насыпи съ естественнымъ грунтомъ. Общія филтраціи. Достиженіе непроницаемости при помощи впуска мутной воды. Примѣненіе земляного слоя. Работы, произведенныя на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ. Бьефъ de Saint-Menge. Непроницаемый слой изъ мѣла. Продолжительность службы земляного утрамбованнаго слоя. Примѣненіе каменной кладки. Бетонныя работы на каналѣ отъ Марны къ Рейну. Бетонныя работы на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ. Особенное устройство русла канала въ случаяхъ возможности давленій снизу. Различныя подробности относительно выполненія бетонныхъ работъ. Общій выводъ . . . . . 82—120

### Глава VII. Питаніе каналовъ.

Боковые каналы. Главный запасъ воды въ началѣ канала. Питаніе канала отъ Роана до Дигуана водами р. Луары. Второстепенные попуски воды для питанія изъ водохранилищъ, расположенныхъ вдоль канала. Питающіе каналы. Расходъ воды въ питающихъ каналахъ. Допускаемая скорость воды. Площадь живого сѣченія. Паденіе питающихъ каналовъ. Общее описаніе искусственныхъ сооружений. Искусственныя сооружения, специально примѣняемыя на питающихъ каналахъ. Механическія приспособленія для подъема воды изъ одного бьефа въ другой. Каналы съ раздѣльной точкой. Постоянные источники воды. Водохранилища. Питаніе съ помощью машинъ. Питаніе раздѣльныхъ бьефа канала Бриары. Пруды. Подъемная станція . . . . . 120—140

### Глава VIII. Водохранилища и цѣль ихъ устройства.

Выборъ мѣста. Вмѣстимость. Водохранилища съ земляной плотиной. Поперечное сѣченіе плотины. Качество земли для плотины. Приготовленіе грунта подъ основаніе плотины. Уплотненіе земляной массы. Одежда откоса съ верховой стороны. Верхняя часть плотины и парпетъ. Примѣненіе слишкомъ глинистой земли. Дополнительные сооружения. Бассейны для отложенія наносовъ и оградительныя каналы. Сооруженія для попусковъ воды въ водохранилищѣ de Montaubry. Попуски воды изъ водохранилища Torcy-Neuf. Соображенія относительно водосливовъ. Водосливъ-сифонъ въ Миттерсгеймѣ. Сифоны водохранилища de Bourdon. Плотины англійской системы. Плотины въ Индіи. Прорывъ земляной плотины. Выводы. Плотины смѣшанной системы (изъ земли и камня). Водохранилище de Couzon. Водохранилище Duming. Водохранилище Gasco на Guadarama. Водохранилище озера Orédon. Примѣненіе металла. Примѣненіе желѣзо-бетона. Каменные плотины. Старыя испанскія плотины du Gouffre d'Enfer. Плотины, сооруженныя во Франціи позднѣе плотины du Gouffre d'Enfer.. Алжирскія плотины. Плотины въ другихъ странахъ. Прорывъ каменныхъ плотинъ. Требованія устойчивости, предъявляемыя въ настоящее время къ плотинамъ водохранилищъ. Опредѣленіе давленія воды на плотину. Законъ трапеціи. Условія устойчивости. Методъ M. Bouvier. Методъ M. Maurice Lévy. Ширина по верху. Удѣльный вѣсъ каменной кладки. Сопротивленіе кладки. Разрушеніе кладки отъ соприкасанія съ водой. Мѣры предосторожности при сооруженіи плотинъ. Способы, имѣющіе своей цѣлью предохранить наиболѣе существенныя части плотинъ отъ разрушенія вслѣдствіе соприкасанія съ водой. Дополнительные сооружения. Очистка водохранилищъ отъ наноснаго грунта. Заключение. . . . . 140—209

### Глава IX. Эксплоатація каналовъ.

Защита береговъ отъ разрушенія. Типы укрѣпленій, примѣняемыхъ во Франціи. Типы укрѣпленій, примѣняемыхъ въ Германіи. Типы укрѣпленій, примѣняемыхъ въ Россіи. Очистка каналовъ отъ наносовъ. Очистка каналовъ отъ льда. Тяга на французскихъ каналахъ. Бичевая тяга людьми. Смѣшанная тяга. Тяга лошадьми съ подставами. Спеціальныя виды примѣненія механической тяги. Общія условія задачи о механической тягѣ на каналахъ. Тяга паровыми локомотивами. Цѣпная тяга.



Тяга электрическими локомотивами. Тяга съ керосиновыми двигателями. Тяга на германскихъ каналахъ. Тяга на русскихъ каналахъ . . . . .	209—250
---	---------

## Глава X. Дополнительные статьи.

Описание работъ по постройкѣ Ново-Маріинскаго канала. Краткія свѣдѣнія объ имѣющихся въ Россіи каналахъ. Приладожскіе каналы. Онежскій каналъ. Ново-Маріинскій каналъ. Бѣлозерскій каналъ. Днѣпровско-Бугскій каналъ. Огинскій каналъ. Августовскій каналъ. Вазеринскіе каналы. Тверецкій, Цнинскій, Сиверсовъ и Вишерскій каналы. Сергучевскій, Соединительный, Веребскій, Лепельскіе и Чашницкій каналы. Тихвинскій каналъ. Соединительный каналъ Обь-Енисейскаго воднаго пути. Судходные и желѣзнодорожные пути. Сравненіе стоимости перевозки по водѣ и по желѣзной дорогѣ. Соотвѣтственные преимущества и недостатки водныхъ и желѣзнодорожныхъ путей . . . . .	250—283
--	---------







## ГЛАВА I.

### Введение. Поперечное сѣченіе канала.

Судоходные каналы являются послѣднимъ заключительнымъ звеномъ тѣхъ сооружений, которыя устраиваются для улучшенія водяныхъ сообщеній государства.

Устройство ихъ является неизбѣжнымъ не только тогда, когда надо создать водный путь, соединяющій бассейны двухъ рѣкъ, раздѣленныхъ водораздѣломъ, но и нерѣдко вдоль существующихъ рѣкъ и озеръ, когда они почему либо не могутъ быть использованы съ выгодой и удобствомъ для судоходства.

Каналы первого рода называются соединительными, причемъ, если каналъ проходитъ черезъ высокій водораздѣлъ и имѣетъ паденіе отъ него въ обѣ стороны, то онъ называется каналомъ съ раздѣльною точкою, а наивысшій его бьефъ называется раздѣльнымъ бьефомъ.

Каналы второго рода называются боковыми или обходными и устраиваются въ обходъ такихъ участковъ рѣкъ, улучшеніе которыхъ не можетъ быть достигнуто ни выправленіемъ, ни землечерпаніемъ, а шлюзование представляетъ громадныя трудности вслѣдствіе большого паденія, узости, извилистости и подвижности русла, низкихъ береговъ, частыхъ внезапныхъ паводковъ и т. п.; такія условія очень часто встрѣчаются въ верховьяхъ рѣкъ, напримѣръ, главныя рѣки Франціи—Луара, Гаронна и Рона имѣютъ въ предѣлахъ своихъ долинъ боковые каналы, состоящіе изъ серіи горизонтальныхъ бьефовъ, раздѣленныхъ между собою камерными шлюзами.

Озера, если они лежатъ на пути водной системы, обыкновенно такъ же обходятъ каналами, хотя бы глубина въ нихъ и была достаточна для судоходства, во избѣжаніе опасностей и затрудненій, испытываемыхъ рѣчными судами въ озерахъ, и во избѣжаніе перегрузки товаровъ изъ рѣчныхъ судовъ въ озерныя и обратно.

Поперечное сѣченіе канала. Какой бы каналъ ни пришлось проектировать, боковой или съ раздѣльною точкой, первый вопросъ, съ которымъ приходится встрѣтиться—это тотъ поперечный профиль, который надо придать каналу.

Во Франціи этому вопросу придавали настолько важное значеніе, что разрѣшили его въ законодательномъ порядкѣ: законъ отъ 5-го августа 1879 года для главныхъ линій каналовъ устанавливаетъ слѣдующіе минимальные размѣры.

Глубина воды . . . . .	2	метр.
Ширина шлюзовъ . . . . .	5,20	»
Длина шлюзовъ отъ стѣнки паденія до нижняго шкафа .	38,50	»
Свободная высота подъ мостами (для каналовъ) . . . . .	3,70	»



Эти размѣры были установлены для обезпеченія движенія судовъ шириною въ 5 метр., длиною въ 38,50 метр., при наибольшей осадкѣ въ 1,80 метр. Съ перваго же взгляда видно, что эти размѣры слишкомъ недостаточны для свободнаго движенія судна, что и было установлено опытами, произведенными вскорѣ послѣ изданія указаннаго выше закона. Въ настоящее время во Франціи общепринятой глубиной для всего протяженія канала является 2,20 метра, а на короляхъ шлюзовъ 2,50 метр. Что же касается ширины, то ее увеличиваютъ настолько, насколько это позволяютъ обстоятельства и финансовыя соображенія. Такое стремленіе къ увеличенію ширины вполне естественно, такъ какъ суда должны имѣть возможность не только двигаться въ каналѣ, но и совершать эти движенія съ соблюденіемъ требованій экономіи, т. е., не встрѣчая чрезмѣрно большихъ сопротивленій. Поэтому-то и опредѣленіе наивыгоднѣйшаго поперечнаго профиля тѣсно связано съ изученіемъ сопротивленій движенію судовъ въ водномъ пути ограниченныхъ размѣровъ, какъ напримѣръ, въ каналѣ, а потому мы и перейдемъ къ разсмотрѣнію послѣдняго вопроса.

Если мы имѣемъ судно, плавающее въ безграничной водѣ, то полное сопротивленіе судна движенію зависитъ отъ многихъ элементовъ—отъ размѣровъ судна, его формъ, свойствъ и состоянія его поверхности, скорости его движенія относительно воды. Благодаря обилію этихъ элементовъ формула, выражающая общее сопротивленіе самаго судна, не можетъ быть выведена точно. Этимъ и объясняется обиліе формулъ, выражающихъ это сопротивленіе и выведенныхъ различными авторами на основаніи произведенныхъ ими опытовъ. Таковы формулы инженеровъ де-Маса, Ренкина, Рина, Раухфуса, инженеровъ Общества судоходства по Дунаю, инженера Карапетова \*). Наибольшій интересъ представляютъ формулы: 1) де-Маса для скоростей сравнительно небольшихъ (до 2,50 метр. въ сек.), 2) инженеровъ Общества судоходства по Дунаю для большихъ скоростей (отъ 2,50 метр. до 5 метр. въ сек.) и 3) Рина—спеціально предназначенная для рѣчныхъ пароходовъ (при скоростяхъ, большихъ 2 метр. въ секунду).

Формула де-Маса

$$r = (a + bt) v^{2,25}, \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ  $r$ —собственное сопротивленіе судна;

$t$ —осадка;

$v$ —скорость движенія;

$a$  и  $b$ —постоянныя, опредѣляемыя опытнымъ путемъ для каждаго судна.

Формула инженеровъ общества судоходства по Дунаю

$$r = kv^{2,25}, \dots \dots \dots (2)$$

гдѣ  $r$ —собственное сопротивленіе судна;

$v$ —скорость движенія;

$k$ —коэффициентъ, зависящій отъ формы и осадки судна.

Формула Рина. Ринъ даетъ для пароходовъ двѣ формулы:

---

\*) Интересующимся этимъ вопросомъ совѣтуемъ обратиться къ слѣдующимъ источникамъ: 1) de-Mas. Rivières à courant libre. Глава III, § 3, стр. 122, 2) Suppan. Wasserstrassen und Binnenschiffahrt стр. 351, 3) Карапетовъ. О сопротивленіи движенію судовъ внутренняго плаванія. Часть I. Сопротивленіе въ безграничной водѣ.



а) пароходы плоскодонные; дно соединяется закруглениями съ боковыми стѣнками;  
сопротивленіе

$$r = 5A \left[ i_1 C_1 \left( \frac{B}{L_1} \right)^2 + i_2 C_2 \left( \frac{B}{L_2} \right)^2 \right] v^{2,5} + 0,153 \cdot \frac{L}{B} \cdot A \left( 2 + \frac{\alpha_0 B}{t} \right) v^{1,83} *) , \quad (3)$$

гдѣ  $r$  — собственное сопротивленіе парохода;

$A$  — площадь миделя;

$L$  — длина парохода между перпендикулярами;

$L_1$  — длина носового образованія между миделемъ и перпендикуляромъ;

$L_2$  — длина кормового образованія между миделемъ и перпендикуляромъ;

$B$  — полная ширина судна въ миделѣ по ватерлиніи;

$t$  — осадка;

$v$  — скорость;

$\alpha_0$  — коэффициентъ полноты площади ватерлиніи судна, соотвѣтствующей осадкѣ  $t$ ;

$\alpha_1$  — коэффициентъ полноты передней части этой ватерлиніи;

$\alpha_2$  — тоже задней:

$$n_1 = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1}; \quad n_2 = \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2};$$

$$C_1 = \frac{n_1^3}{3n_1 - 2} \cdot \frac{1,1}{1 + n_1^2 \cdot \left( \frac{B}{2L_1} \right)^2};$$

$$C_2 = \frac{n_2^3}{3n_2 - 2} \cdot \frac{1,1}{1 + n_2^2 \cdot \left( \frac{B}{2L_2} \right)^2};$$

$$i_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2C_1};$$

$$i_2 = \frac{1}{3} + \frac{2}{3C_2}.$$

Если  $\alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2$  и  $L_1 = L_2 = \frac{L}{2}$ , то формула значительно упрощается, и мы получимъ:

$$r = 20AC_0 \left( \frac{B}{L} \right)^2 (i_1 + i_2) v^{2,5} + 0,153 \frac{L}{B} A \cdot \left( 2 + \frac{\alpha_0 B}{t} \right) v^{1,83} . . . . (4)$$

б) пароходы совершенно плоскодонные; дно соединяется подъ прямымъ угломъ со стѣнками по всей длинѣ судна.

Сопротивленіе

$$r = 5A \left[ C_1 \left( \frac{B}{L_1} \right)^2 + C_2 \left( \frac{B}{L_2} \right)^2 \right] v^{2,5} + 0,17 \frac{L}{B} A \left( 2 + \frac{\alpha_0 B}{t} \right) v^{1,83} . . . (5)$$

Здѣсь  $C_1$  и  $C_2$  имѣютъ тѣ же значенія, что и въ предыдущемъ случаѣ.

\*) Всѣ измѣренія должны быть въ килограммахъ и метрахъ.



Если  $C_1 = C_2 = C_0$  и  $L_1 = L_2 = \frac{L}{2}$ , то

$$r = 40 AC_0 \left( \frac{B}{L} \right)^2 v^{2,5} + 0,17 \cdot \frac{L}{B} A \left( 2 + \frac{\alpha_0 B}{t} \right) v^{1,83} \dots \dots (6)$$

Этой послѣдней формулой слѣдуетъ пользоваться и въ тѣхъ случаяхъ, когда неизвѣстно распредѣленіе полноты очертаній  $\alpha_0$  ватерлинии на переднюю часть ( $\alpha_1$ ) и заднюю ( $\alpha_2$ ).

Формулы Рина состоятъ изъ двухъ членовъ. Первый изъ нихъ, пропорціональный  $v^{2,5}$  и площади миделя  $A$ , представляетъ сопротивленіе формъ, или сопротивленіе волновое и водоворотное; второй членъ, умноженный на  $v^{1,83}$ , представляетъ сопротивленіе тренія. Не трудно видѣть, что выраженіе

$$\frac{L}{B} \cdot A \left( 2 + \frac{\alpha_0 B}{t} \right)$$

есть ничто иное, какъ расчетная смоченная поверхность судна.

Дѣйствительно

$$\frac{L}{B} \cdot A \left( 2 + \frac{\alpha_0 B}{t} \right) = Lt \left( 2 + \frac{\alpha_0 B}{t} \right) = L (2t + \alpha_0 B).$$

Если судно имѣетъ среднюю часть съ параллельными боками, то  $L_1$ ,  $\alpha_1$ ,  $n_1$ , а также  $L_2$ ,  $\alpha_2$  и  $n_2$  относятся въ формулахъ (3) и (5) лишь къ частямъ судна между соотвѣтственнымъ перпендикуляромъ и тѣмъ мѣстомъ, откуда уже начинаются параллельныя стѣнки, такъ что въ этомъ случаѣ  $(L_1 + L_2) < L$ . Въ формулахъ же (4) и (6), въ которыхъ сопротивленіе выражено прямо черезъ  $C_0$  и  $n_0$ , слѣдуетъ въ этомъ случаѣ въ членѣ, умноженномъ на  $v^{2,5}$ , вмѣсто  $\frac{B}{L}$  подставить  $\frac{B}{2L_1}$  или  $\frac{B}{2L_2}$ , во второмъ же членѣ, умноженномъ на  $v^{1,83}$ , попрежнему оставить выраженіе  $\frac{L}{B}$ .

Вычисленіе сопротивленія по приведеннымъ формуламъ Рина значительно упрощается благодаря даннымъ имъ таблицамъ для отдѣльныхъ выраженій, входящихъ въ его формулы. Дитце еще болѣе упростилъ эти вычисленія, построивши графики для этихъ выраженій \*).

Для лучшаго усвоенія довольно сложныхъ формулъ Рина пояснимъ ихъ на численномъ примѣрѣ.

Примѣръ. Требуется опредѣлить сопротивленіе рѣчного парохода съ острыми очертаніями, имѣющаго слѣдующіе размѣры:

длина . . . . .  $L = 48$  метр.  
 ширина . . . . .  $B = 6$  »  
 осадка . . . . .  $t = 1$  »  
 сѣченіе миделя . . . . .  $A = 6$  кв. метр.

Кромѣ того пусть по чертежу

$$\alpha_1 = 0,62; \quad \alpha_2 = 0,74; \quad \alpha_0 = 0,69,$$

\*) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingen. 1887 г. статья Dietze.



такъ что

$$2 + \frac{\alpha_0 B}{t} = 6,1.$$

Вычисляя, находимъ:

$$n_1 = 1,63; \quad \frac{n_1^3}{3n_1 - 2} = 1,5;$$

$$n_2 = 2,85; \quad \frac{n_2^3}{3n_2 - 2} = 3,54;$$

$$C_1 = 1,6; \quad C_2 = 3,46.$$

Такимъ образомъ

$$i_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{3,2} = 0,81;$$

$$i_2 = \frac{1}{3} + \frac{2}{10,38} = 0,52.$$

Поэтому по формулѣ (3) имѣемъ, въ предположеніи, что  $L_1 = L_2 = \frac{L}{2} = 24$  метр.

$$r = 5 \times 6 \left[ 0,81 \times 1,6 \times \left( \frac{6}{24} \right)^2 + 0,52 \times 3,46 \times \left( \frac{6}{24} \right)^2 \right] v^{2,5} + 0,153 \times 8 \times 6 \times 6,1 v^{1,83}$$

или окончательно

$$r = 5,81 v^{2,5} + 44,8 v^{1,83}.$$

При скорости 4 метр. въ сек. или около 13 вер. въ 1 час. получимъ:

$$r = 650 \text{ килогр.}$$

Допустимъ теперь, что при тѣхъ же главныхъ размѣрахъ парохода очертанія его полнѣе, и что онъ имѣетъ параллельныя боковыя стѣнки въ средней части на  $\frac{1}{4}$  своей длины. Такъ какъ въ этомъ случаѣ подъ  $L_1$  и  $L_2$  надо разумѣть въ формулѣ (3) лишь длины носового и кормового образований, то

$$L_1 = L_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{3}{4} \cdot 48 \right) = 18 \text{ метр.}$$

Пусть по чертежу  $\alpha_1 = 0,72$  и  $\alpha_2 = 0,78$  (безъ средней призматической части).

По этимъ величинамъ могутъ быть вычислены  $n_1$  и  $n_2$ ; далѣе находимъ:

$$C_1 = 2,76; \quad C_2 = 4,20;$$

$$i_1 = 0,69; \quad i_2 = 0,49.$$

Во второмъ членѣ формулы (3), выражающемъ треніе, подъ  $\alpha_0$  должно подразумѣвать коэффициентъ полноты всей площади ватерлиніи, включая и среднюю часть, т. е.

$$\alpha_0 = \frac{0,72 \times 18 + 0,78 \times 18 + 1,0 \times 12}{18 + 18 + 12} = 0,81,$$

такъ что

$$2 + \frac{\alpha_0 B}{t} = 2 + \frac{0,81 \times 6}{1} = 6,9.$$



Поэтому

$$r = 5 \times 6 \left[ 0,69 \times 2,76 \left( \frac{6}{18} \right)^2 + 0,49 \times 4,20 \left( \frac{6}{18} \right)^2 \right] v^{2,5} + 0,153 \times 8 \times 6,9 v^{1,83},$$

или окончательно

$$r = 13,2 v^{2,5} + 50,6 v^{1,83}.$$

Какъ и слѣдовало ожидать, главное увеличеніе сопротивленія по сравненію съ предыдущимъ случаемъ произошло насчетъ увеличенія водоворотныхъ сопротивленій (первый членъ) вслѣдствіе большей полноты формъ.

При  $v = 4$  метр.  $r = 1050$  килогр. (прежде всего 650 килогр.).

Всѣ вышеприведенныя формулы выведены въ предположеніи, что судно движется въ безграничной водѣ. Если помѣстить судно въ судоходномъ каналѣ, имѣющемъ ограниченныя размѣры, то сопротивленіе его движенію будетъ совершенно другое.

Оно не только будетъ возрастать съ увеличеніемъ скорости, но и становится функціей не только формъ судна, но и особенностей того воднаго пути, по которому оно движется. Очевидно, что сопротивленіе движенію къ каналѣ будетъ гораздо больше, чѣмъ въ безграничной водѣ, и что его можно получить черезъ умноженіе собственнаго сопротивленія судна  $r$  на нѣкоторый коэффициентъ  $C$ , конечно большій единицы:

$$R = Cr.$$

Коэффициентъ  $C$  можно назвать коэффициентомъ сопротивленія разсматриваемаго пути.

Для выясненія вопроса объ измѣненіяхъ этого коэффициента отъ различныхъ факторовъ французскимъ правительствомъ было поручено проф. де-Масу произвести спеціальныя опыты, которые и были имъ выполнены въ періодъ 1890—1897 г.г., причемъ опыты съ прямой тягой на Бургундскомъ каналѣ дали особенно наглядные результаты, рисующіе картину измѣненія сопротивленій при переходѣ судна изъ рѣки въ каналъ ограниченныхъ размѣровъ. Приводимъ ниже эту таблицу № 1.

Глубины осадки деревянных судовъ.	Подводное.		$\frac{\Omega}{\omega} = n$	Скорость= 0,50 метр. въ секунду.			Скорость=1,00 метр. въ секунду.		
	$\Omega$ сѣченіе канала.	$\omega$ сѣченіе судна.		$R$	$r$	$C = \frac{R}{r}$	$R$	$r$	$C = \frac{R}{r}$
	Въ кв. метр.			Въ килогр.			Въ килогр.		
1,60 м.									
Péniche . . . . .	29,53	8,05	3,67	172	102	1,69	860	301	2,86
Flûte . . . . .	29,53	8,03	3,68	112	54	2,07	481	162	2,97
Toue . . . . .	29,53	8,03	3,68	109	44	2,48	463	126	3,67
1,30 м.									
Flûte . . . . .	29,53	6,53	4,52	70	44	1,59	284	143	1,99
Preussisches Schiff	29,53	6,38	4,62	54	22	2,45	215	80	2,69
Margotat . . . . .	29,53	6,50	4,54	53	21	2,52	197	67	2,94
1,00 м.									
Flûte . . . . .	29,53	5,02	5,88	48	39	1,23	191	129	1,48



Главнѣйшіе размѣры судовъ и ихъ формы показаны на рисункѣ 1-мъ, помѣщаемомъ ниже; участокъ канала, на которомъ производились опыты, имѣлъ протяженіе въ 1600 метр. при ширинѣ по дну въ 8,30 метр., по урѣзу воды — 18,70 метр. при глубинѣ воды въ 2,19 метра.

Такимъ образомъ площадь живого сѣченія канала  $\Omega$  была равна 29,53 кв. метрамъ.

Изъ таблицы видно, что при малыхъ скоростяхъ и малой осадкѣ сопротивление въ каналѣ немногимъ больше, чѣмъ въ рѣкѣ, особенно когда послѣднее вообще невелико, но при бѣльшихъ скоростяхъ и бѣльшей осадкѣ оно значительно возрастаетъ. Такъ на примѣръ деревянное судно «Flûte» при осадкѣ въ 1 метр. и при скорости въ 0,50 метр. дало сопротивление въ рѣкѣ 39 килогр., а въ каналѣ 48 килогр.;  $C=1,23$ . При осадкѣ въ 1,60 метр. и при той же скорости оно дало сопротивление въ рѣкѣ 54 килогр., а въ каналѣ 112 килогр.;  $C=2,07$ . Наконецъ при той же осадкѣ въ 1,60 метр., но при скорости въ 1 метр. оно дало сопротивление въ рѣкѣ 162 килогр., а въ каналѣ 481 килогр.;  $C=2,97$ .

Собственное сопротивление судовъ зависитъ прежде всего отъ ихъ формы.

Теперь является вопросъ, можемъ ли мы тѣ формы судна, которыя признаны наивыгоднѣйшими въ смыслѣ сопротивленія въ безграничной водѣ, считать таковыми же и въ каналѣ ограниченныхъ размѣровъ. Опыты, произведенные на Бургундскомъ каналѣ показали, что въ смыслѣ сопротивленія движенію различные типы судовъ сохраняютъ и въ каналѣ тотъ же порядокъ классификацій какой былъ установленъ для нихъ въ безграничной водѣ. Различіе заключается въ томъ, что вліяніе разныхъ формъ выражается менѣе рѣзко, такъ что преимущества одной формы судна передъ другой при движеніи въ каналѣ не такъ велики, какъ въ безграничной водѣ.

Чтобы выяснитъ болѣе наглядно, какъ измѣняется коэффициентъ сопротивленія  $C$  для одного и того же канала и того же судна при постоянной осадкѣ, но при различныхъ скоростяхъ де-Масъ произвелъ спеціальныя опыты съ судномъ «Jeanne» въ каналѣ de la Cure, причемъ получилъ такіе результаты:

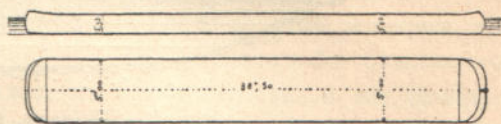


Рис. 1.—Péniche.

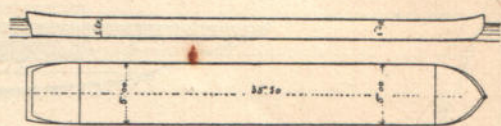


Рис. 1.—Flûte.

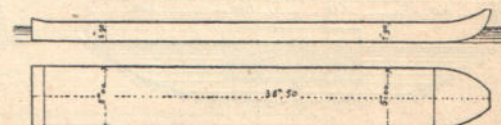


Рис. 1.—Tone.

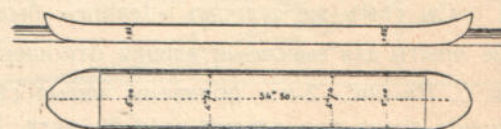


Рис. 1.—Preussisches schiff.

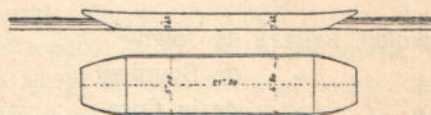


Рис. 1.—Margotat.



При скорости 0,25 метр. въ секун. коэфф. . . . .	$C = 1,92.$
» » 0,50 » » » » . . . . .	$C = 2,13.$
» » 0,75 » » » » . . . . .	$C = 2,38.$
» » 1,00 » » » » . . . . .	$C = 2,75.$
» » 1,25 » » » » . . . . .	$C = 3,17.$

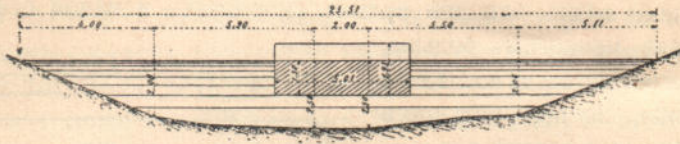


Рис. 2.—Деривау. каналъ de Joigny.



Рис. 2.—Бургундскій каналъ.

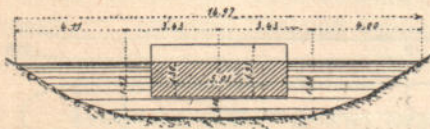


Рис. 2.—Каналъ de la Cure.



Рис. 2. Каналъ du Nivernais.

Съ тѣмъ же судномъ «Jeanne» были де-Масомъ произведены многочисленныя опыты для выясненія вліянія отношенія  $n = \frac{Q}{\omega}$  на коэффициентъ сопротивленія  $C$ . На рис. 2-мъ показаны живыя сѣченія четырехъ каналовъ и подводное сѣченіе судна при осадкѣ въ 1.30 метр. При скорости  $v = 0,75$  метр. (2,70 километра въ часъ), которая является наиболѣе подходящею при движеніи въ каналѣ, получились слѣдующіе результаты:

Деривацион. каналъ de Joigny . . . . .	$Q = 41,63$ кв. метр.	$n = 6,39$	$C = 1,38.$
» » de Bourgogne . . . . .	$Q = 29,53$ » »	$n = 4,54$	$C = 1,98.$
» » de la Cure . . . . .	$Q = 23,23$ » »	$n = 3,57$	$C = 2,38.$
» » du Nivernais . . . . .	$Q = 19,16$ » »	$n = 2,94$	$C = 3,82.$

Величины  $n$  убываютъ въ отношеніи отъ 2,17 до 1, а коэффициентъ сопротивленія  $C$  возрастаетъ въ отношеніи отъ 1, до 2, 77. На рис. 3-мъ показаны кривыя сопротивленія судна «Jeanne» при движеніи его въ Сенѣ (сопротивленіе можно принять какъ-бы въ безграничной водѣ) и въ четырехъ указанныхъ выше каналахъ, причемъ скорости измѣнялись отъ 0 до 1,25 метр. въ сек.

Существуетъ много формулъ, выражающихъ зависимость между  $C$  и  $n$ . Такова напримѣръ, формула Дюбуа

$$C = \frac{8,46}{n + 2},$$



формула Сьюита

$$R = \frac{5,4125 sv^2}{n - 0,597},$$

въ которой  $R$ —полное сопротивление судна,  $S$ —подводная площадь сѣченія по мидель-шпангоуту,  $v$ —скорость (относительная).

Обѣ эти формулы эмпирическія и отнюдь не могутъ имѣть общаго характера, въ чемъ очень легко убѣдиться. Въ самомъ дѣлѣ, а priori очевидно, что  $n$  не можетъ быть меньше 1. Если бы только оно достигло этой величины, то какъ само сопротивление, такъ и коэффициентъ его сдѣлались-бы безконечно большими. Если-бы, наоборотъ,  $n$  стремилось къ безконечности, и мы приближались бы къ условіямъ движенія въ безграничной водѣ, то  $R$  стремилось бы къ  $r$  и коэффициентъ  $C$  къ 1. Если мы теперь въ приведенныя выше формулы подставимъ  $n=1$ , то получимъ конечную величину, если же поставимъ  $n=\infty$ , то получимъ  $R=0$ ; какъ тотъ, такъ и другой результатъ показываютъ настоящую цѣну этихъ формулъ.

Обѣ эти формулы выведены въ предположеніи, что сопротивление въ каналѣ не зависитъ отъ характера или вѣрнѣе формы живого сѣченія канала, а только отъ площади его, между тѣмъ подобное допущеніе а priori не можетъ быть признано правильнымъ и кромѣ того не согласуется съ данными опыта. Такъ де-Масомъ были произведены съ тѣмъ-же судномъ «Jeanne» опыты въ каналахъ съ одинаковой площадью живого сѣченія двухъ каналовъ—отъ Марны къ Сонѣ и отъ Марны къ Рейну. Для перваго  $\Omega=26,94$ , а для втораго 26,96, тѣмъ не менѣе при осадкѣ въ 1,60 метр. и при скорости 0,75 метр. въ сек. коэффициентъ сопротивления получился въ первомъ случаѣ 3,15, а во второмъ 2,36, т. е. на 25% меньше.

Правда, можетъ возникнуть сомнѣнье, не повліяло-ли на измѣненіе коэффициента сопротивления то обстоятельство, что въ первомъ случаѣ берега въ естественномъ состояніи, а во второмъ одѣты каменной стѣнкой; но это не имѣетъ такого существеннаго значенія, что можно заключить изъ сравненія сопротивления въ другихъ двухъ каналахъ, показанныхъ на рис. 5-омъ и имѣющихъ почти одинаковыя площади живого сѣченія, не укрѣпленныя берега, но различное очертаніе поперечныхъ профилей.  $\Omega$  въ первомъ случаѣ равна 19,16 кв. метра, во второмъ 19,15 кв. метра. Оказывается, что во второмъ случаѣ коэффициентъ сопротивления на 13% меньше, чѣмъ въ первомъ при одной и той-же осадкѣ, въ 1,30 метр, и скорости 0,75 метр. въ сек. Причину такого

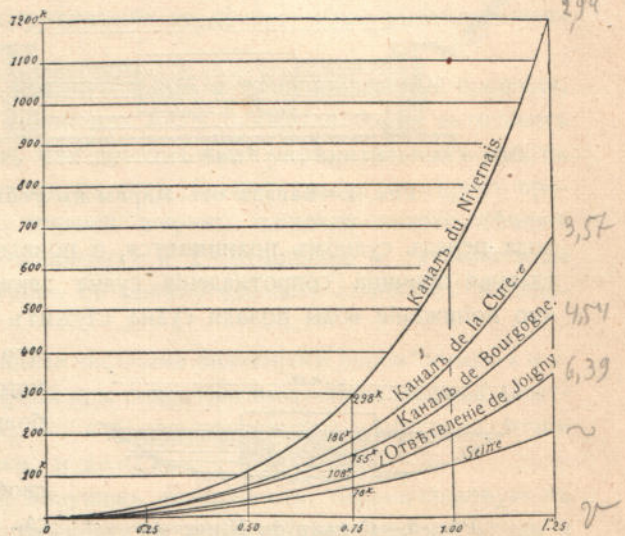


Рис. 3.



уменьшения коэффициента сопротивления является увеличение глубины (въ первомъ случаѣ глубина равна 1,70 метр., а во второмъ 2,06 метра).

На основаніи приведенныхъ выше опытовъ можно составить себѣ вполне ясное представленіе о причинахъ, вызывающихъ сопротивление судна движению

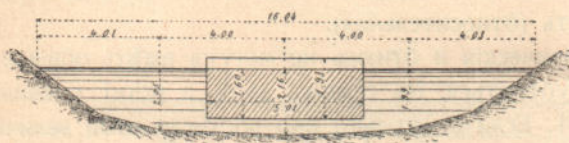


Рис. 4.—Каналъ отъ Марны къ Сонтъ.

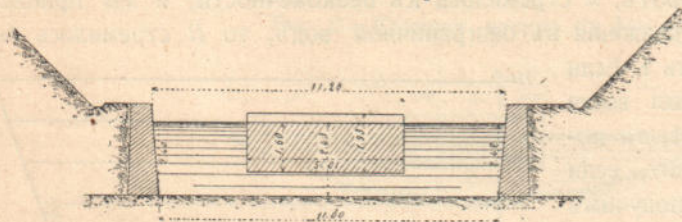


Рис. 4.—Каналъ отъ Марны къ Рейну.

въ каналѣ. Въ самомъ дѣлѣ, по мѣрѣ движениа судна объемъ воды, равный его водоизмѣщенію долженъ подвигаться спереди назадъ черезъ суженное сѣченіе канала. Чтобы вода, продвигаясь назадъ, могла развить требуемую скорость, необходимъ нѣкоторый подпоръ. Этотъ подпоръ образуется вслѣдствіе того, что

вода передъ судномъ поднимается, а позади судна опускается, и онъ-то и есть главная причина сопротивленія судна движению въ каналѣ. Замѣтимъ кстати, что пониженіе воды позади судна служитъ объясненіемъ того обычнаго явленія, что осадка судна (относительно нормальнаго горизонта) при движеніи всегда больше, чѣмъ въ состояніи покоя.



Рис. 5.—Каналъ du Niernais.

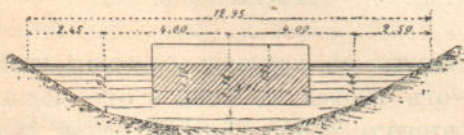


Рис. 5.—Каналъ de St-Dizier à Wassy.

Само собой разумѣется, что, чѣмъ свободнѣе совершается движеніе воды съ передней части судна назадъ, тѣмъ сопротивленіе менѣе, а для этого необходимо, чтобы сѣченіе, которымъ должна проходить эта вода, измѣнялось постепенно. Отсюда и вытекаетъ условіе, чтобы суда, плавающія въ каналахъ, имѣли оконечности соотвѣтствующей формы.

Изъ вышеприведеннаго ясно также,

почему съ увеличеніемъ скорости и съ уменьшеніемъ  $n = \frac{\Omega}{\omega}$  такъ быстро возрастаетъ коэффициентъ сопротивленія  $C$ .

Для возможно болѣе свободнаго движениа воды въ стѣсненномъ судномъ сѣченіи канала очень важно, чтобы это сѣченіе нигдѣ не было слишкомъ сужено; отсюда вытекаетъ значеніе формы поперечной профили и глубины.

Наконецъ становится теперь вполне ясно, почему на сопротивленіе судна движению въ каналѣ влияетъ до нѣкоторой степени и характеръ самаго русла, такъ какъ, очевидно, что передвиженіе воды подъ судномъ и по бокамъ его будетъ происходить тѣмъ свободнѣе, чѣмъ менѣе шероховатостей представляетъ самое русло.



Выше мы указали, съ какими трудностями сопряжено подробное изученіе сопротивленія движенію судовъ въ каналахъ, между тѣмъ оно необходимо для рациональнаго опредѣленія поперечнаго профиля канала. Предположимъ теперь, что опыты выполнены въ требуемыхъ размѣрахъ. Тогда, имѣя въ своемъ распоряженіи необходимыя данныя, мы можемъ перейти къ вопросу о рациональномъ опредѣленіи поперечнаго профиля канала въ томъ видѣ, какъ онъ былъ предложенъ въ постановленіи Международнаго Конгресса водяныхъ сообщеній въ Гаагѣ въ 1894-мъ году, а именно: «Опредѣлить профиль канала, позволяющій судну данныхъ формъ и размѣровъ двигаться съ требуемой скоростью при опредѣленномъ усилии, затрачиваемомъ на тягу».

Пусть размѣры судна вполне опредѣленны, тогда легко найти его собственное сопротивленіе, и остается опредѣлить профиль канала такъ, чтобы, при требуемой скорости коэффициентъ сопротивленія не превосходилъ предѣла, опредѣляемаго изъ данныхъ задачи.

При изслѣдованіи надо сравнить прямоугольный и трапециoidalный профили, такъ какъ à priori нельзя рѣшить, какой изъ нихъ окажется болѣе выгоднымъ при данномъ родѣ грунта и при томъ или другомъ типѣ укрѣпительныхъ работъ въ предѣлахъ горизонта воды. Переходя къ опредѣленію самыхъ размѣровъ профиля, рассмотримъ 1—отношеніе  $\lambda$ , средней ширины площади живого сѣченія канала къ ширинѣ судна по мидель-шпангоуту и 2—отношеніе  $\mu$ , глубины воды въ каналѣ, къ осадкѣ судна. Для судовъ съ прямоугольнымъ сѣченіемъ мидель-шпангоута произведеніе  $\mu \lambda = n$

Пусть  $\lambda_1$ , и  $\mu_1$ , будутъ нѣкоторыми частными значеніями переменныхъ  $\lambda$  и  $\mu$ , а  $C_1$ ,—соотвѣтствующій имъ коэффициентъ сопротивленія, опредѣленный опытнымъ путемъ. Примемъ величины  $\lambda_1$ ,  $\mu_1$ , и  $C_1$  за координаты нѣкоторой точки въ пространствѣ, причемъ  $x=\lambda_1$ ,  $y=\mu_1$  и  $z=C_1$ .

Давая  $\lambda$ ,  $\mu$ , и  $C$  рядъ значеній, получимъ поверхность, ограничиваемую въ пространствѣ двумя вертикальными плоскостями, образующими прямой уголъ и имѣющими своими слѣдами на горизонтальной плоскости прямыя  $x=1$  и  $y=1$ . Въ самомъ дѣлѣ, при  $\lambda$  или  $\mu$  равномъ единицѣ  $C$  должно обращаться въ безконечность. Построивъ указанную выше поверхность, легко найти кривую, соотвѣтствующую данному значенію  $C$ . Эта кривая дастъ всѣ комбинаціи  $\lambda$  и  $\mu$ , удовлетворяющія условіямъ задачи, и останется только, сообразуясь съ даннымъ случаемъ, выбрать тѣ изъ нихъ, которыя согласуются съ другими условіями, напримѣръ, дающими наибольшую экономію при сооруженіи канала. Не надо однако забывать, что водные пути служатъ главнымъ образомъ для промышленности, а потому должны быть приняты всѣ мѣры къ пониженію стоимости, перевозки грузовъ; но издержки на тягу составляютъ главную часть этой стоимости, поэтому надо какъ можно больше уменьшить сопротивленіе движенію судовъ и обратить особое вниманіе на величину  $n$ .

Установленный во Франціи закономъ 1879 года профиль канала не находится, напримѣръ, въ соотвѣтствіи съ поперечнымъ сѣченіемъ по мидель-шпангоуту плавающихъ по нему судовъ. При полной нагрузкѣ судовъ величина  $n$  доходитъ до  $\frac{26}{9} = 2,89$ , между тѣмъ для полученія умѣренной величины коэффициента сопротивленія, а, слѣдовательно, и экономической тяги, необходимо по даннымъ опыта



имѣть и не менѣе 4-хъ. Главнымъ недостаткомъ профиля является слишкомъ малый зазоръ между днищемъ судна и дномъ канала.

Все предыдущее изложеніе относилось къ случаю движенія судовъ по прямому направленію. Очевидно а priori, что въ кривыхъ частяхъ каналовъ сопротивленіе движенію должно возрасти. Ввиду отсутствія опытныхъ данныхъ нельзя дать какихъ-либо опредѣленныхъ указаній по этому вопросу, но для нѣкотораго его освѣщенія считаемъ не лишнимъ помѣстить здѣсь выдержки изъ статьи М. Flamant, напечатанной въ Annales des ponts et chaussées (1881 1-er semestre) и посвященной разсмотрѣнію какъ разъ этого вопроса. Путемъ цѣлаго ряда вычисленій онъ пришелъ окончательно къ слѣдующимъ выводамъ:

«Усиліе, необходимое для движенія судна съ данной скоростью въ кривой радіуса  $R=100$  метр., болѣе чѣмъ въ два раза превосходитъ то, которе необходимо для сообщенія той-же скорости судну въ прямой части канала; въ кривой радіуса  $R=500$  метр. это усиліе возрастаетъ только на  $4\%$  сравнительно съ прямой частью канала»... «Если усиліе остается все время постояннымъ, то скорость судна при переходѣ изъ прямой части канала въ кривую уменьшается, причемъ если для даннаго усилія скорость въ прямой части принять за единицу то въ кривой радіуса  $R=100$  метр. она уменьшится на  $30\%$ , а въ кривой радіуса  $R=500$ —лишь на  $2\%$ »... Послѣдній выводъ даетъ серьезное основаніе избѣгать кривыхъ малаго радіуса.

Увеличеніе ширины въ кривыхъ.—Выше мы разсматривали поперечное сѣченіе канала въ прямыхъ участкахъ. Въ кривыхъ участкахъ необходимо дѣлать уширеніе по дну. Пусть abcd представляетъ прямоугольникъ, описанный около судна, помѣщеннаго въ кривомъ участкѣ канала (рис. 6); очевидно, что промежутки между этимъ прямоугольникомъ и кривыми, ограничивающими плоскость дна, не должны быть меньше разности между шириной канала и шириной судна въ прямыхъ участкахъ. Это условіе будетъ выполнено, если уширеніе по дну будетъ равно стрѣлкѣ дуги наружной кривой, имѣющей хордой длину судна. Это—такъ называемое геометрическое уширеніе.

Если мы обозначимъ черезъ

$x$  — искомое уширеніе,

$R$  — радіусъ кривизны по оси канала,

$l$  — ширину по дну въ прямомъ участкѣ,

$L$  — длину судна,

то геометрическое уширеніе выразится такъ:

$$x = \frac{L^2}{4(2R+l)} \quad ^1).$$

<sup>1)</sup> Пусть  $x$  — искомое уширеніе, равное стрѣлкѣ дуги наружной кривой, имѣющей своей хордой  $L$ ; радіусъ этой кривой

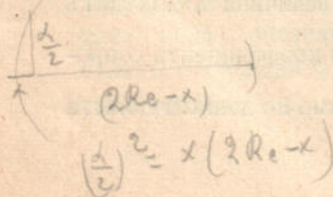
$$R_e = R + \frac{l+x}{2}; \quad 2R_e - x = 2R + l$$

имѣемъ:

$$x(2R_e - x) = \frac{L^2}{4},$$

$$x(2R + l) = \frac{L^2}{4},$$

$$x = \frac{L^2}{4(2R+l)}.$$





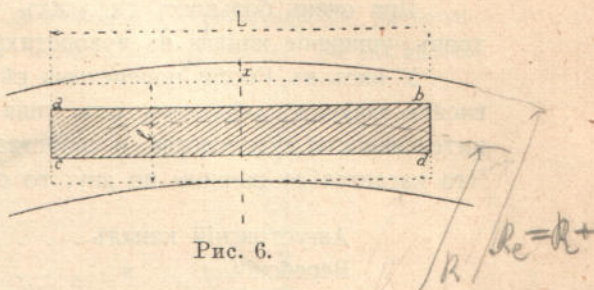
Опытъ показываетъ, что эта формула даетъ недостаточныя величины, и что ихъ надо помножить на нѣкоторый коэффициентъ, зависящій отъ размѣровъ канала и судовъ. Многія обстоятельства дѣлаютъ необходимымъ увеличеніе ширины канала въ кривыхъ участкахъ сравнительно съ прямыми, а особенно, какъ мы указывали выше, возростаніе сопротивленій при движеніи судовъ и необходимость постоянной перемѣны направленія движенія послѣднихъ.

Для французскихъ каналовъ, размѣры которыхъ соотвѣтствуютъ установленному закономъ нормамъ, циркуляръ отъ 19 іюля 1880 года предписываетъ опредѣлять ширину по дну въ кривыхъ по слѣдующей эмпирической формулѣ:

$$10 \text{ метр.} + \frac{380}{R}.$$

Для тѣхъ же каналовъ геометрическое уширеніе въ кривыхъ опредѣлится изъ выраженія:

$$\frac{38,5^2}{4(2R+10)}.$$



Зададимся различными значеніями для  $R$  и опредѣлимъ для нихъ уширенія геометрическія и по эмпирической формулѣ. Получимъ:

Величины $R$ .	Геометрич. ушир.	Уширен. по эмпир. форм.
200 метр.	0,90 метр.	1,90 метр.
400 »	0,46 »	0,90 »
600 »	0,31 »	0,63 »
800 »	0,23 »	0,48 »
1000 »	0,18 »	0,38 »

Сравнивая тѣ и другія уширенія, мы видимъ, что эмпирическая формула даетъ уширенія почти вдвое большія геометрическихъ.

На каналѣ отъ Эльбы до Травы, размѣры котораго нѣсколько больше установленныхъ закономъ, и въ которомъ радіусы кривыхъ взяты не менѣе 600 метр., уширеніе принято равнымъ тройной стрѣлѣ хорды въ 74 метра (приблизительно такой длины суда совершаютъ рейсы по этому каналу). Слѣдовательно геометрическое уширеніе умножено на коэффициентъ равный 3.

Для каналовъ еще большихъ размѣровъ, какъ напримѣръ отъ Terneuzen до Gand главный инженеръ путей сообщенія въ Бельгіи M. van der Linden совѣтуетъ доводить этотъ коэффициентъ до 4-хъ.

Для каналовъ со встрѣчнымъ движеніемъ судовъ ширину по дну въ закругленіяхъ опредѣляютъ по формулѣ Моккери:

$$B_1 = \sqrt{b + s + \sqrt{(R + b)^2 + \frac{L^2}{4}}} - R,$$

гдѣ:

$R$  — радіусъ закругленія откоса канала по дну;

$b$  — наибольшая ширина судовъ;

$L$  — наибольшая длина судовъ;



$s$  — необходимый зазоръ, между встрѣчающимися въ поворотѣ судами.

Обыкновенно его принимаютъ равнымъ 2 метрамъ;

$B = 2b$  — ширина канала по дну въ прямыхъ участкахъ:

$B_1$  — ширина канала по дну въ закругленіи.

Иногда пользуются формулой Дерома:

$$B_1 = \sqrt{L^2 + (B + 2R)^2} - 2R,$$

гдѣ буквы имѣютъ тѣ же значенія, что и въ формулѣ Моккери.

При очень большихъ радіусахъ закругленій, а именно большихъ 1000 метровъ, уширеніе канала въ поворотахъ обыкновенно не дѣлается.

У насъ въ Россіи поперечныя сѣченія каналовъ крайне разнообразны и зависятъ главнымъ образомъ отъ типа судовъ, совершающихъ по нимъ рейсы, интенсивности судоходства и свойства грунта, изъ котораго состоятъ откосы. Что касается до ширины по дну, то она такова въ различныхъ каналахъ:

Августовскій каналъ . . . . .	4 саж.
Веребскій » . . . . .	5 »
Вишерскій » . . . . .	4,5 »
Огинскій » . . . . .	отъ 3 до 5 »
1-й Лепельскій » . . . . .	8 »
2-й » » . . . . .	6 »
Тверецкій » . . . . .	10 »
Цнинскій » . . . . .	10 »
Сиверсовъ » . . . . .	10 »
Онежскій » . . . . .	11 »
Бѣлозерскій » . . . . .	11 »
Ново-Маріинскій » . . . . .	отъ 10 до 11 »
Приладожскіе » . . . . .	12 »

Бичевники. — На высотѣ около 0,70 метр. надъ горизонтомъ воды на одномъ изъ береговъ располагается дорога для бичевой тяги, которой даютъ обыкновенно ширину въ 4 метра. Со стороны канала ее ограничиваютъ небольшимъ банкетомъ шириною 0,30 — 0,40 метра. На другомъ берегу устраивается дорога для обратной тяги или для пѣшеходовъ шириною обыкновенно въ 2 метра. Для уменьшенія количества земляныхъ работъ бичевникъ обыкновенно располагаютъ на низменномъ берегу, а пѣшеходную на нагорномъ. Впрочемъ это условіе не всегда выполнимо. Дѣло въ томъ, что необходимо принимать во вниманіе другія мѣстныя условія, среди которыхъ главное значеніе имѣетъ направленіе господствующихъ вѣтровъ.

Вѣтеръ оказываетъ значительное вліяніе на движеніе судовъ, и было бы не цѣлесообразно устраивать бичевую дорогу съ подвѣтренной стороны, когда есть возможность ее устроить съ навѣтренной стороны.

Обѣ дороги должны быть вымощены или по крайней мѣрѣ покрыты слоемъ песку на ширинѣ не менѣе 2-хъ и 1-го метра. Въ случаѣ интенсивнаго судоходства, когда, слѣдовательно, встрѣчи судовъ часты, желательно имѣть двѣ дороги для бичевой тяги, одну для восходящаго, а другую для нисходящаго судоходства,

основные типы бичев  
 при выводе бичев  
 на берег  
 + К  
 2



благодаря чему избѣгается потеря времени, вызываемая скрещеніемъ судовъ при одномъ бичевникѣ. Собственно говоря, разница по ширинѣ между бичевой дорогой и дорогой для пѣшеходовъ настолько незначительна, что во всѣхъ случаяхъ, когда можно предвидѣть болѣе или менѣе оживленное движеніе, слѣдуетъ поставить за правило устройство двухъ дорогъ для бичевой тяги.

Кавальеры.— Грунтъ, извлеченный при разработкѣ русла для канала, складывается обыкновенно на низменномъ берегу въ видѣ земляной дамбы называемой кавальеромъ, причемъ, если по нему устраиваютъ дорогу для бичевой тяги, то ширину по верху дѣлаютъ въ 4 метра и полуторные откосы. Кавальеръ имѣетъ двоякое значеніе: во-первыхъ онъ значительно увеличиваетъ устойчивость низменнаго берега, во вторыхъ, если каналъ расположенъ по сосѣдству

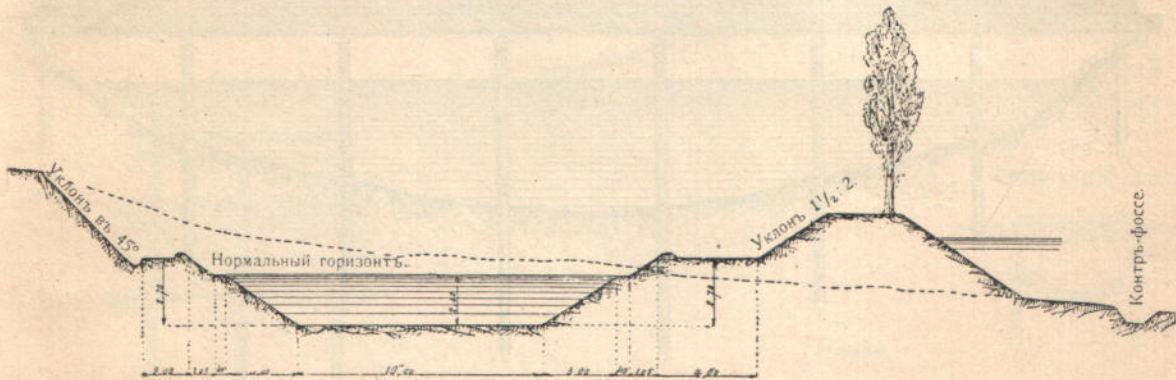


Рис. 7.— Поперечное сѣченіе канала, установленное во Франціи закономъ отъ 5 авг. 1879 года.

съ естественнымъ воднымъ путемъ, онъ образуетъ предохранительный валъ противъ разливовъ послѣдняго. Въ послѣднемъ [случаѣ онъ долженъ возвышаться надъ самымъ высокимъ горизонтомъ воды на 0,60—1,00 метра.

Предохранительныя канавы.— По границамъ полосы отчужденія устраиваются канавы, съ нагорной стороны — для стока воды съ вышележащей мѣстности и направленія ея въ спеціальныя водопроводы, съ низовой стороны — для принятія водъ фильтраціи канала и направленія ихъ въ русла рѣчекъ, пересѣкаемыхъ каналомъ. Размѣры канавъ должны, конечно, соответствовать расходамъ воды въ различныхъ сѣченіяхъ.

Здѣсь умѣстно дать совѣтъ отводить подъ отчужденіе болѣе широкую полосу земли, на которой можно было бы складывать матеріалы и продукты очистки канала.

Это важно также и въ виду возможнаго съ теченіемъ времени уширенія канала.

Сооруженія на бичевникахъ обыкновенно дѣлаютъ самой простой конструкціи, дабы они могли всегда содержаться въ порядкѣ и требовали бы самаго незначительнаго ремонта.

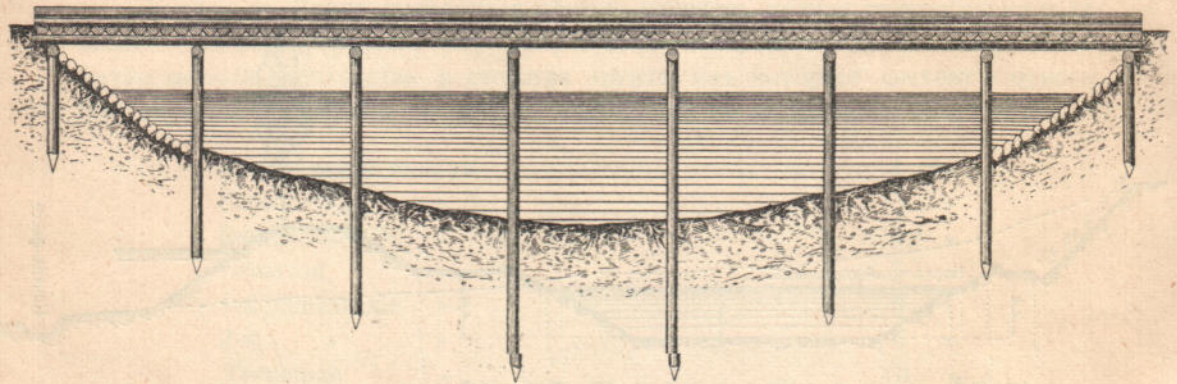
Въ видѣ примѣра приводимъ типы различныхъ сооружений, примѣняемыхъ на Маринской системѣ (см. таблицы 8 и 9).



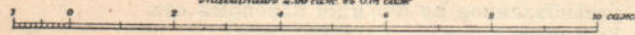
Рис. 8. Сооруженія

*Современный типъ бечевого моста.*

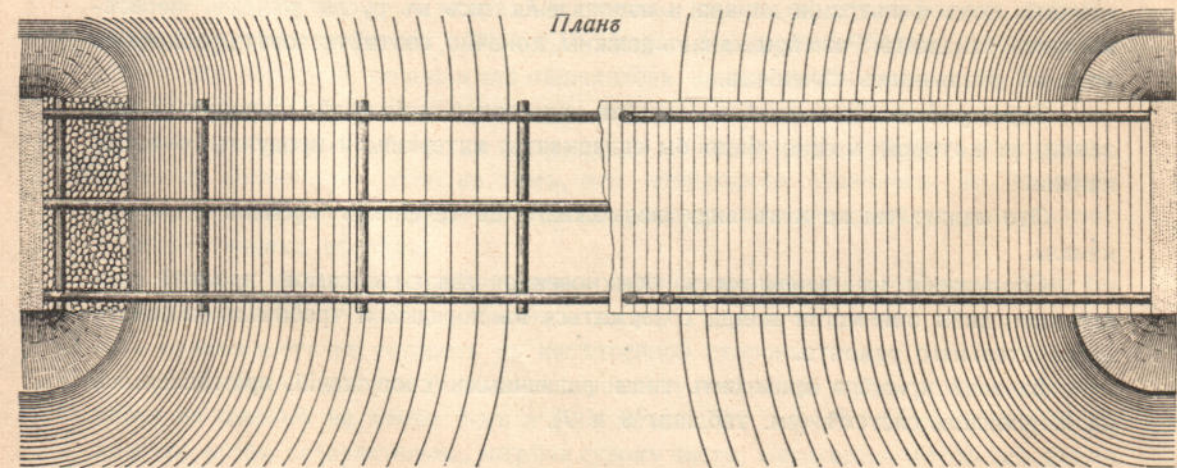
*Фасадъ*



*Масштабъ 2.00 саж. въ 0.75 саж.*



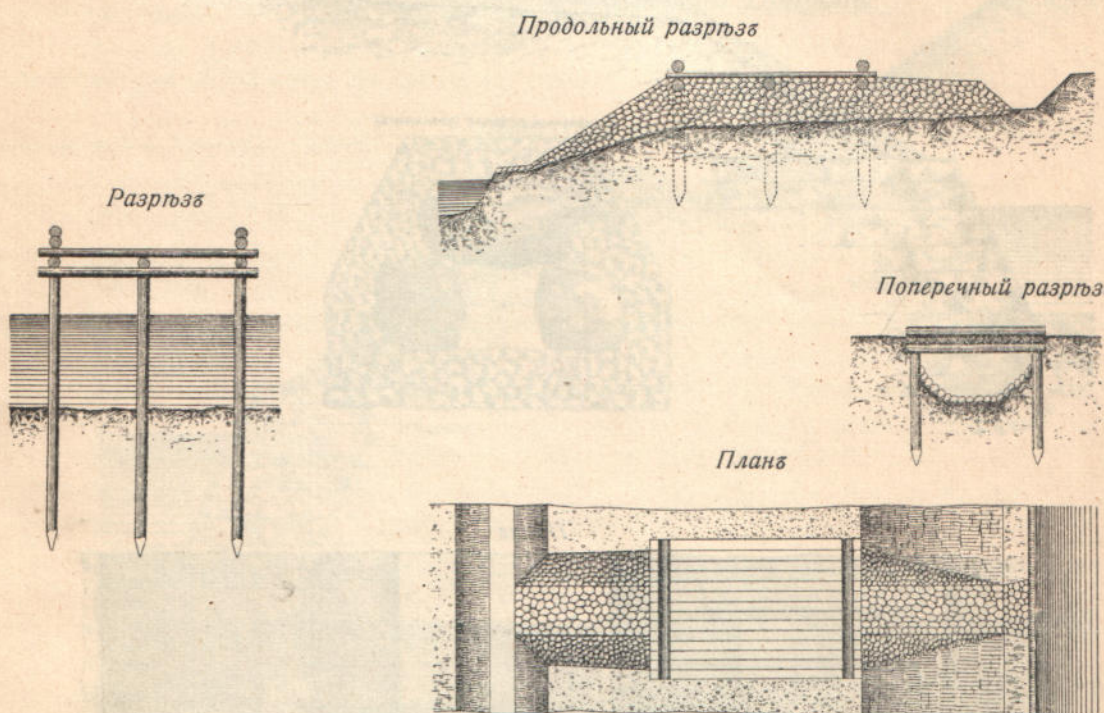
*Планъ*





на бечевникахъ.

*Лотокъ съ бечевымъ черезъ него мостомъ.*



*Типъ укрѣпленія береговъ плетневыми заборами.*

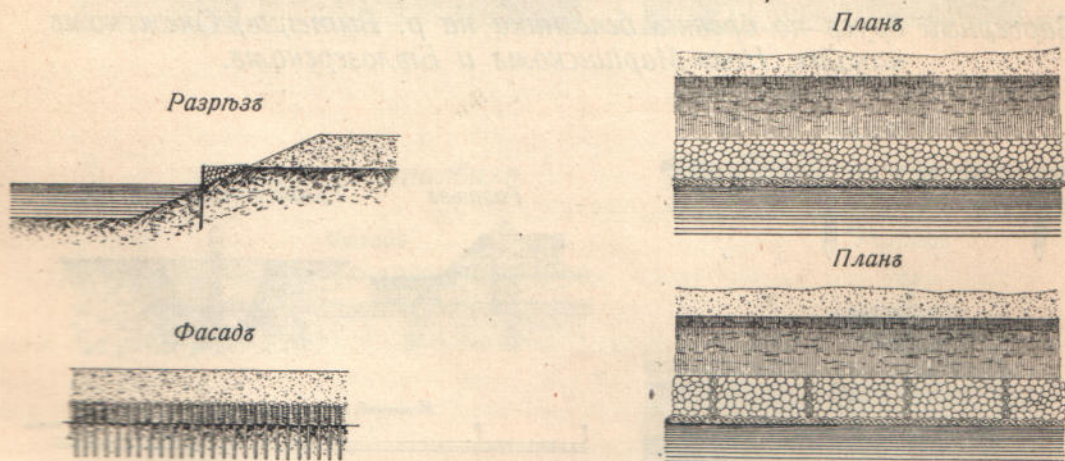




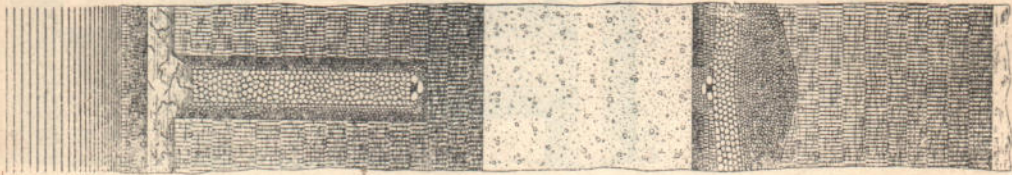
Рис. 9. Сооруженія

Каменная труба.

Продольный разръзъ



Планъ

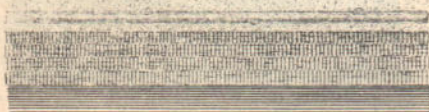


Барьерный брусь по бровкѣ бечевника на р. Вытегрѣ, Онежскомъ каналѣ, Ново-Маріинскомъ и Бѣлозерскомъ.

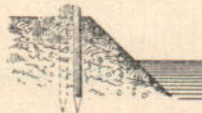
Фасадъ



Планъ



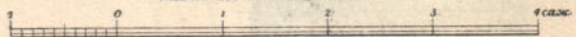
Разръзъ



Тумба для причала судовъ



Масштабъ 1:00 саж. къ 0:01 саж.

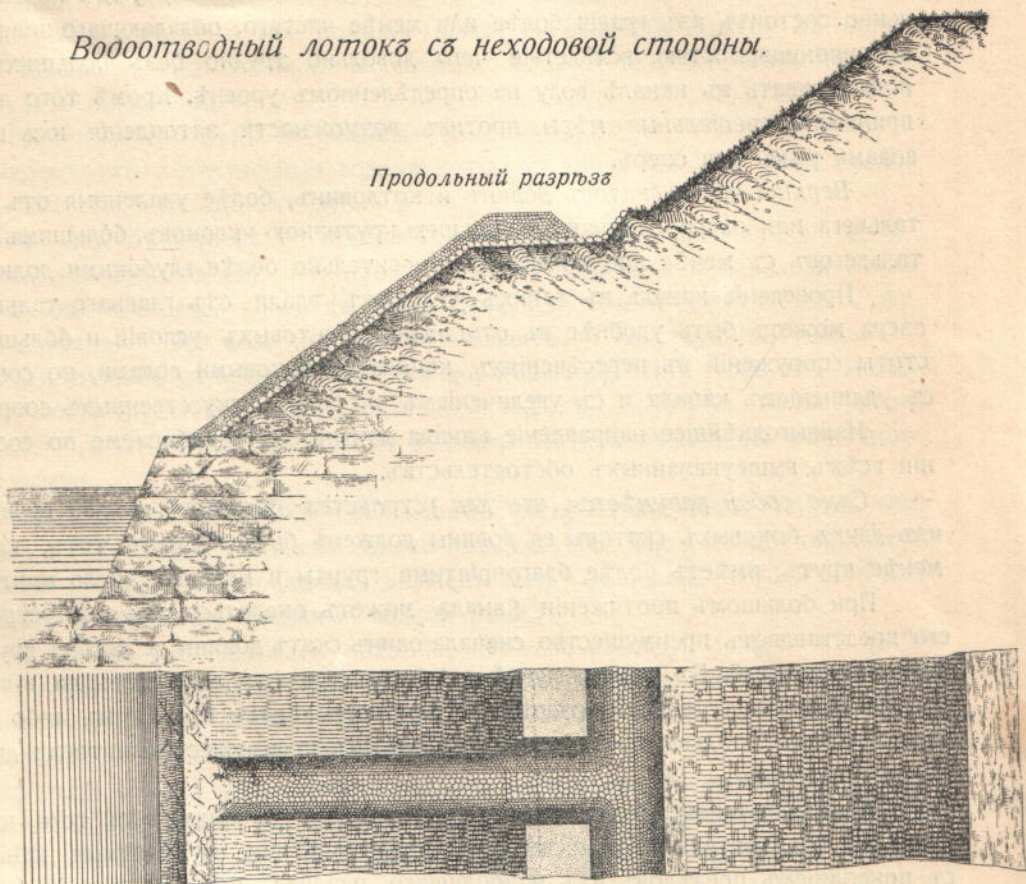




на бечевникахъ.

*Водоотводный лотокъ съ неходовой стороны.*

*Продольный разръзъ*



*Барьеръ на стальныхъ.*

*Фасадъ*



*Разръзъ*





## ГЛАВА II.

### Трассировка каналовъ.

Боковые каналы.— Боковые или деривационные каналы приходится проводить вообще въ долинахъ рѣкъ и въ котловинахъ озеръ, гдѣ почва обыкновенно состоитъ изъ гравія болѣе или менѣе чистаго, обладающаго значительной водопроницаемостью, вслѣдствіе чего довольно трудно безъ большихъ работъ поддерживать въ каналѣ воду на опредѣленномъ уровнѣ. Кромѣ того требуется принимать спеціальныя мѣры противъ возможности затопленія ихъ высокими водами рѣкъ или озеръ.

Верхнія части скатовъ долинъ и котловинъ, болѣе удаленныя отъ главнаго тальвега или озера, отличаются болѣе крутизною уклоновъ, болѣе числомъ тальвеговъ съ менѣе широкими, но относительно болѣе глубокими долинами.

Проведеніе канала въ такихъ условіяхъ вдали отъ главнаго тальвега или озера можетъ быть удобнѣе въ отношеніи грунтовыхъ условій и болѣе простоты сооруженій въ пересѣченіяхъ канала съ боковыми водами, но сопряжено съ удлиненіемъ канала и съ увеличеніемъ числа его искусственныхъ сооруженій.

Наивыгоднѣйшее направленіе канала должно быть избираемо по соображеніи всѣхъ вышеуказанныхъ обстоятельствъ.

Само собой разумѣется, что для устройства бокового канала вдоль рѣки изъ двухъ боковыхъ скатовъ ея долины долженъ быть избранъ тотъ, который менѣе крутъ, имѣетъ болѣе благопріятные грунты и меньшее число притоковъ.

При большомъ протяженіи канала можетъ оказаться, что для устройства его представляетъ преимущество сначала одинъ скатъ долины, а затѣмъ другой—противоположный. Въ этомъ случаѣ слѣдуетъ выяснитъ, не будетъ ли выгоднѣе при помощи искусственнаго сооруженія провести каналъ въ какомъ либо мѣстѣ черезъ главный тальвегъ, чтобы воспользоваться преимуществами того и другого ската его долины.

При выборѣ направленія канала обыкновенно начинаютъ съ того, что на планъ въ горизонталяхъ наносятъ всѣ рѣки и рѣчки, встрѣчаемыя каналомъ съ показаніемъ предѣловъ ихъ наибольшаго разлива, пути сообщенія разнаго рода, и вообще все то, что можетъ имѣть вліяніе на выборъ направленія канала. Наиболѣе подходящій масштабъ для такого плана  $1/1000$ .

Мы увидимъ далѣе, что число бьефовъ и отмѣтки горизонта воды въ нихъ опредѣляются часто заранее въ зависимости отъ многихъ условій, которымъ долженъ удовлетворять продольный профиль.

Зная число бьефовъ и отмѣтки горизонтовъ воды въ нихъ, стараются намѣтить ось канала такъ, чтобы получить по возможности равенство насыпей и выемокъ. Такимъ образомъ получаютъ первый эскизъ трассы. Онъ очень полезенъ для дальнѣйшаго изслѣдованія, а также для сужденія о степени отклоненія отъ наименьшаго количества земляныхъ работъ при дальнѣйшей трассировкѣ.

Самымъ главнымъ условіемъ для канала является требованіе, чтобы онъ могъ удерживать воду, т. е. его водонепроницаемость, а потому, конечно, вопросъ о равенствѣ выемокъ и насыпей, столь важный при проектированіи желѣзныхъ



и шоссейныхъ дорогъ, здѣсь отступаетъ на второе мѣсто, а на первое мѣсто выступаетъ изслѣдованіе грунтовъ, въ которыхъ долженъ пройти каналъ, посредствомъ буренія.

При трассировкѣ бокового канала часто случается, что естественный водный путь круто упирается въ тотъ берегъ, по которому ведется трасса, и загораживаетъ такимъ образомъ дальнѣйшій путь каналу. Въ такихъ случаяхъ можно при трассировкѣ примѣнить одинъ изъ трехъ способовъ.

1. Спуститься къ рѣкѣ при помощи шлюза и провести трассу на болѣе-шемъ или меньшемъ протяженіи въ естественномъ руслѣ съ тѣмъ, чтобы потомъ опять вступить въ каналъ.

2. Перейти черезъ рѣку съ помощью моста—канала.

3. Переимѣнить естественный водный путь, устроивъ для него новое русло, а каналъ помѣстить въ старомъ руслѣ рѣки.

Первый способъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что онъ приводитъ къ измѣненію характера судоходства. Въ этомъ случаѣ суда должны переходить изъ бѣефовъ съ почти стоячей водой въ русло рѣки, гдѣ теченіе можетъ быть довольно значительно. Это должно, конечно, повліять на конструкцію судовъ.

Второй способъ отличается большой дороговизной. Онъ требуетъ между прочимъ, чтобы трасса велась на достаточной высотѣ, а это еще болѣе удорожаетъ самыя работы и заставляетъ по болѣе-й части отказываться отъ такого рѣшенія задачи.

Третій способъ пользуется наибольшимъ распространеніемъ. Каналъ при-мыкаетъ къ берегу, при чемъ его поперечные размѣры доводятъ до minimum'a. Само собой разумѣется, что каналъ долженъ быть защищенъ дамбой отъ возможности затопленія его высокими водами рѣки.

Если почему либо является опасеніе, что проведеніемъ канала въ руслѣ рѣки ея живое сѣченіе слишкомъ стѣсняется для пропуска паводковъ, то рѣку обыкновенно цѣликомъ отводятъ въ сторону въ новое русло, какъ это схематически показано на рисункѣ 10-мъ.

Благодаря такому устройству отпадаетъ необходимость возведенія длинной продольной дамбы, и взамѣнъ ея устраиваютъ двѣ другія, сравнительно небольшой длины, поперекъ русла. Такое расположеніе создаетъ въ каналѣ удобные пункты для поворота судовъ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда приходится проводить каналъ въ такой промышленной долинѣ, въ которой уже проходитъ желѣзная дорога, слѣдуетъ, если позволятъ мѣстныя условія, сблизить оба пути настолько, чтобы между ними оставалась полоса земли шириною отъ 100 до 200 метровъ. Эта территория въ высшей степени удобна для устройства на ней промышленныхъ предпріятій, которыя могутъ одновременно обслуживаться и желѣзной "дорогой и каналомъ; такъ показываетъ по крайней мѣрѣ опытъ.

Продольный уклонъ дна открытаго канала долженъ быть параллеленъ по-верхностному уклону въ немъ воды, а этотъ послѣдній не долженъ превосходить той величины, при которой скорость теченія можетъ быть опасна для устойчивости русла канала или можетъ затруднять взводное судоходство. Скорость теченія въ открытомъ каналѣ должна быть по возможности меньше и не должна превосходить при землистомъ руслѣ 2,5 футъ въ секунду, а при скалистомъ



3,5 футъ. Само собой разумѣется, что каналъ долженъ быть обезпеченъ такимъ расходомъ воды, который можетъ дать потребную для судоходства глубину.

Если эти условія не могутъ быть удовлетворены, каналъ долженъ быть шлюзованъ.

Бьефы должны имѣть возможно большую длину; слѣдуетъ только избѣгать слишкомъ длинныхъ прямыхъ частей бьефовъ, особенно въ направленіи господствующихъ вѣтровъ, такъ какъ послѣдніе могутъ сгонять воду къ одному концу бьефа, а противоположный конецъ можетъ обмелѣть.

Наименьшая возможная длина бьефа опредѣляется тѣмъ условіемъ, чтобы при пропускѣ судовъ черезъ шлюзъ у низового конца бьефа пониженіе горизонта воды въ немъ не превосходило половины запаса глубины его противъ осадки судовъ.

Хотя это условіе можетъ быть удовлетворено въ очень короткихъ бьефахъ посредствомъ искусственныхъ мѣръ, какъ-то: посредствомъ уширенія бьефа, увеличенія его глубины и дополнительнаго питанія его при помощи особыхъ водопроводовъ изъ вышележащаго бьефа, тѣмъ не менѣе всѣхъ этихъ мѣръ слѣдуетъ избѣгать.

Высоты сосредоточенныхъ паденій въ порогахъ, раздѣляющихъ бьефы, должны имѣть равныя или мало разнящія величины по всей длинѣ канала; это представляется необходимымъ какъ для равномерности питанія канала, такъ и для уравниванія пропускной способности шлюзовъ, которая, какъ извѣстно, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, зависитъ отъ высоты паденій или подпоровъ, и, чѣмъ послѣдніе однообразнѣе, тѣмъ большую грузопропускную способность даетъ шлюзованный путь.

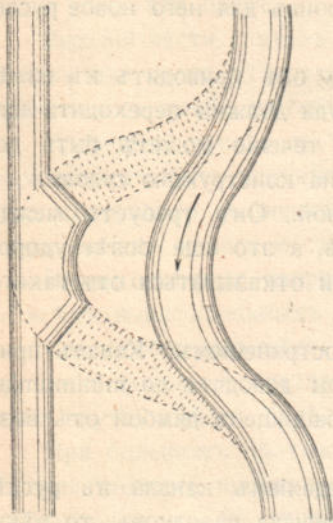


Рис. 10.

Обыкновенная величина подпоровъ колеблется около 1,5 сажени, но вообще въ каждомъ частномъ случаѣ можетъ быть опредѣлена наивыгоднѣйшая величина подпора въ зависимости отъ требуемой грузопропускной способности канала и условій питанія его водою, а также по соображенію съ мѣстными строительными и другими условіями.

Во Франціи имѣется очень много боковыхъ каналовъ, изъ которыхъ заслуживаютъ особаго вниманія слѣдующіе:

Каналъ отъ Toulouse до Castets вдоль р. Гаронны протяженіемъ 193 километровъ.

Каналъ отъ Роана до Бриары вдоль рѣки Луары протяженіемъ 250 километровъ.

Каналъ отъ Vitry-le-François до Dizu вдоль р. Марны протяженіемъ 67 километровъ.

Въ Россіи самый замѣчательный примѣръ боковыхъ каналовъ представляютъ Приладожскіе, построенные въ обходъ Ладожскаго озера. Къ старой линіи приладожскихъ каналовъ принадлежатъ каналы: Императора Петра I длиною 104 версты—шлюзованный, Императрицы Екатерины II-ой длиною 10 верстъ и



Императора Александра I длиною 48 верстъ—открытые. Къ новой линіи Приладожскихъ каналовъ принадлежатъ каналы: Императора Александра II длиною 103,5 версты, Императрицы Маріи Ѳеодоровны длиною 9,6 версты и Императора Александра III длиною 43 версты. Всѣ они—открытые.

Также въ обходъ Онежскаго озера устроены Онежскій каналъ протяженіемъ 62,9 версты, открытый, и въ обходъ Бѣлаго озера—Бѣлозерскій, длиною 63,25 версты—шлюзованный.

Каналы съ раздѣльной точкой.—Каналомъ съ раздѣльной точкой называется, какъ мы указывали выше, такой каналъ, который соединяетъ двѣ долины, пересѣкая ихъ линію водораздѣла.

Во Франціи очень много такихъ каналовъ; назовемъ слѣдующіе:

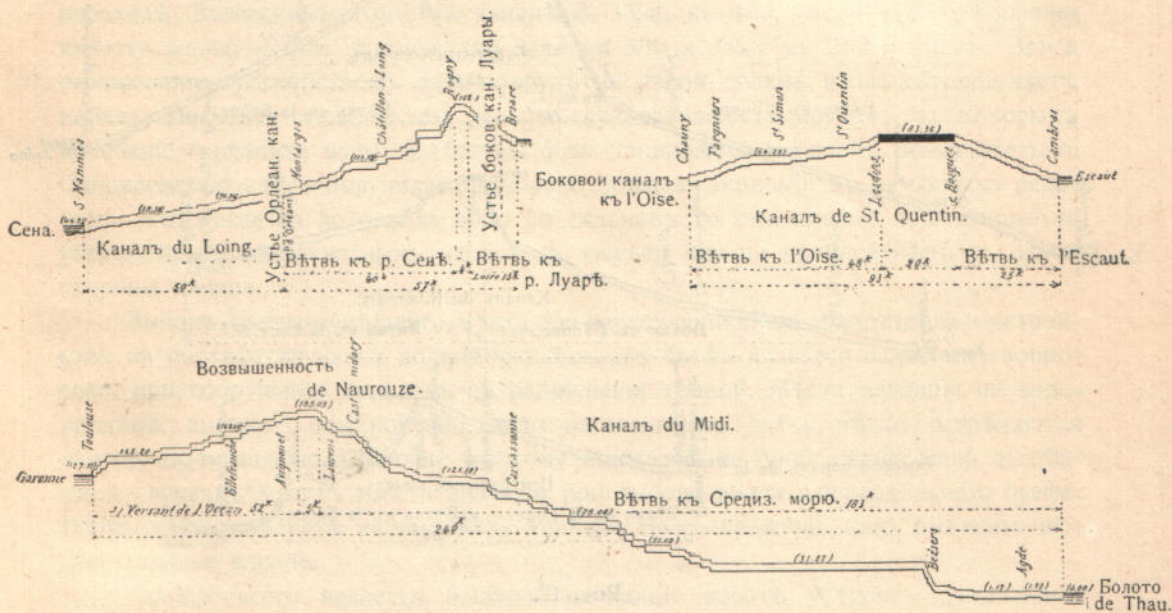


Рис. 11.

Каналь de Briare <sup>1)</sup>, который посредствомъ продолженія при помощи канала du Loing, соединяетъ Луару съ Сеной; полная длина судоходнаго пути между Briare и Saint-Mammés равна 107 километрамъ (рис. 11).—Каналь du Midi, соединяющій долины de la Garonne et de l' Aude; длина его отъ Toulouse до пруда de Thau равна 240 километрамъ (рис. 11).

Каналь de Saint—Quentin отъ l' Escaut къ l' Oise, имѣющій длину въ 93 километра между Cambrai и Chauny (рис. 11).

Каналь de Bourgogne; соединяющій l'Yonne съ la Saône, имѣетъ длину въ 242 километра, отъ Laroche до Saint-Jean-de Losne (рис. 12). Каналь du Nivernais между la Loire и l'Yonne, длиною въ 174 километра отъ Saint-Léger-des-Vignes до Auxerre (рис. 12).

Каналь du Centre, соединяющій la Saône съ la Loire, длиною въ 114 километровъ между Chalon и Digoin. (рис. 12).

<sup>1)</sup> Этотъ каналъ построенъ въ первой половинѣ XVII-го столѣтія и является первымъ извѣстнымъ примѣромъ канала съ раздѣльной точкой.







(или Сены) и de la Saône; въ каналахъ du Midi и du Centre склоны Океана и Средиземнаго моря.

Часто также пользуются для обозначенія шлюзовъ каждого склона особой нумераціей, считая отъ раздѣльнаго бьефа.

Въ нижней части каждого склона каналъ съ раздѣльной точкой представляеть простой боковой каналъ; для этой части трассы можно повторить уже сказанное выше. Въ верхней части трасса идетъ обыкновенно вдоль второстепенныхъ долинъ съ сильнымъ паденіемъ; здѣсь нельзя избѣжать короткихъ бьефовъ, о недостаткахъ которыхъ мы уже говорили выше; все, что можно сдѣлать—это, насколько возможно, уменьшить вліяніе этихъ недостатковъ.

Въ этомъ отношеніи можетъ быть интересенъ способъ, примѣненный при переходѣ Вогезскихъ горъ, въ каналѣ de l'Est, въ той части его, гдѣ шлюзы имѣютъ между собою промежутки едва въ 300 и даже въ 200 метровъ. Здѣсь ограничились устройствомъ ряда запрудъ въ узкой долинѣ, вдоль которой идетъ каналъ, такъ что образовалась серія послѣдовательныхъ прудовъ, въ которыхъ колебаніе горизонта воды, вслѣдствіе функціонированія шлюзовъ, незначительно. Одновременно здѣсь получилась довольно большая экономія въ земляныхъ работахъ. Что касается до отвода воды со склоновъ, то онъ вполне обеспечивается устройствомъ водоотводныхъ канавъ съ каждой или по крайней мѣрѣ съ одной стороны канала.

Выборъ наивыгоднѣйшаго мѣста при пересѣченіи линіи водораздѣла и устройство въ соотвѣтствующей долинѣ раздѣльнаго бьефа является основнымъ вопросомъ при сооруженіи каналовъ съ раздѣльной точкой. Мѣста, лежація на водораздѣлѣ, бываютъ обыкновенно мало населенными; здѣсь рѣдко встрѣчаются важные промышленные центры; поэтому коммерческія соображенія лишь въ рѣдкихъ случаяхъ могутъ имѣть значеніе при выборѣ мѣста для раздѣльнаго бьефа. Итакъ здѣсь слѣдуетъ разсмотрѣть техническія соображенія, какъ имѣющія первенствующее вліяніе.

Прежде всего является вопросъ, на какой высотѣ устроить раздѣльный бьефъ; очевидно, что желательно насколько возможно уменьшить высоту, на которую должны подняться суда только для того, чтобы перейти съ одного склона на другой. Съ другой стороны, по мѣрѣ возрастанія высоты мѣста вообще увеличивается суровость климата, число перерывовъ судоходства вслѣдствіе замерзанія возрастаетъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается и продолжительность этихъ перерывовъ.

Однако эти соображенія отступаютъ на второй планъ передъ необходимымъ условіемъ—собрать достаточное количество воды для питанія раздѣльнаго бьефа. Къ этому вопросу намъ придется неоднократно возвращаться; но очевидно а priori, что первое условіе для канала это быть обеспеченнымъ въ достаточномъ количествѣ водой. Въ раздѣльномъ бьефѣ потребность въ водѣ болѣе значительна, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ, такъ какъ онъ питаетъ оба склона, по крайней мѣрѣ въ ихъ верхней части. Пониженіе раздѣльнаго бьефа, конечно, облегчаетъ въ значительной степени условія питанія канала.

Однако такъ бываетъ не всегда. Такъ напримѣръ, при соединеніи Луары и Сены, если, вмѣсто того, чтобы слѣдовать вдоль долины du Loing, вести трассу по долинѣ de l'Essones, другого притока Сены, то можно было бы пересѣчь линію



водораздѣла въ менѣе возвышенной точкѣ, но тогда нельзя было-бы воспользоваться ни значительнымъ количествомъ расхода du Loing, ни выгоднымъ распределеніемъ собранныхъ водъ въ прудахъ, имѣющихъ общую площадь въ 480 гектаровъ; въ этомъ случаѣ питаніе водой было бы недостаточнымъ.

Устройство раздѣльнаго бьефа влечетъ за собой во всѣхъ случаяхъ значительные расходы, какъ вслѣдствіе значительныхъ выемокъ такъ и по причинѣ трудности разрабатываемыхъ грунтовъ, но эти расходы сильно возрастаютъ, когда переходъ водораздѣльной линіи требуетъ устройства одного или нѣсколькихъ тоннелей. Возможность устройства послѣднихъ вводитъ въ сооруженіе каналовъ съ раздѣльной точкой новыя усложненія и затрудненія.

Выемка или тоннель.—На продольныхъ профиляхъ каналовъ съ раздѣльной точкой, изображенныхъ на рисункахъ 11 и 12-мъ, раздѣльный бьефъ показанъ чернымъ цвѣтомъ въ тѣхъ случаяхъ, когда онъ содержитъ одинъ или нѣсколько тоннелей. Такъ, въ каналѣ de Saint—Quentin имѣется два тоннеля, одинъ длиною въ 5670 метр., другой длиною въ 1098 метр., въ каналѣ de Bourgogne одинъ тоннель длиною 3330 метровъ, въ каналѣ du Nivernais три тоннеля соотвѣтственно длиною въ 758, 268 и 262 метра. Напротивъ, каналы de Briare, du Midi и du Centre могли быть сооружены, ограничиваясь устройствомъ болѣе или менѣе глубокой выемки. Въ тѣхъ областяхъ, въ которыхъ топографическія изысканія выполнены съ болѣею подробностью, и гдѣ инженеръ имѣетъ въ своемъ распоряженіи всѣ необходимыя данныя, дающія полное представленіе о рельефѣ мѣстности, изученіе по картѣ вполне достаточно для опредѣленія тѣхъ случаевъ, когда тоннель необходимъ и когда онъ можетъ быть избѣгнутъ. Для другихъ мѣстностей не бесполезно знать правила, уже давно формулированныя выдающимся инженеромъ Бриссономъ въ то время, когда еще не располагали существующимъ въ настоящее время матеріаломъ для кабинетныхъ изслѣдованій.

По этимъ правиламъ, пониженныя точки, позволяющія въ наилучшихъ условіяхъ перейти отъ одного бассейна къ смежному, встрѣчаются обыкновенно въ слѣдующихъ случаяхъ (рис. 13):

1° Когда два второстепенныхъ тальвега двухъ противоположныхъ склоновъ начинаются въ двухъ весьма близкихъ точкахъ линіи водораздѣла.

2° Когда два главныхъ тальвега, до тѣхъ поръ параллельныхъ и имѣющихъ паденіе въ однѣ и тѣ-же стороны, быстро расходятся въ противоположныя стороны.

3° Когда—два главныхъ и параллельныхъ тальвега имѣютъ паденіе въ противоположныя стороны. Первый случай почти всегда приводитъ къ тоннелю, тогда какъ въ двухъ другихъ обыкновенно достаточно болѣе или менѣе глубокой выемки; въ третьемъ случаѣ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, имѣются обыкновенно наилучшія данныя для питанія водой. Приведемъ нѣсколько примѣровъ для разъясненія только-что высказанныхъ правилъ.

Въ каналѣ du Saint-Quentin, соединяющемъ верховья рѣкъ de la Somme



Рис. 13.



et de l'Escaut, берушихъ начало въ одномъ и томъ же мѣстѣ линіи водораздѣла и текущихъ въ противоположныя стороны, есть тоннель въ раздѣльномъ бьефѣ; то-же самое слѣдуетъ сказать относительно канала de Bourgogne, соединяющаго верховья de l'Armançon и de l'Ouche, находящіяся на противоположныхъ склонахъ одной и той-же цѣпи горъ.

Напротивъ, каналъ du Midi, соединяющій долину de la Garonne съ долиной de l'Aude въ томъ мѣстѣ, гдѣ эти двѣ рѣки, до тѣхъ поръ текущія параллельно и въ одномъ и томъ же направленіи, внезапно расходятся въ разныя стороны, каналъ этотъ могъ быть сооруженъ при помощи выемки въ ущельѣ de Naugouze. Точно также было достаточно выемки для того, чтобы въ каналѣ de Briare перейти изъ долины de la Loire въ долину du Loing въ точкѣ, гдѣ эти два потока, сначала параллельные и текущіе въ одномъ направленіи, быстро расходятся въ противныя стороны.

Наконецъ, каналъ du Centre между Сеной и Луарой, которая въ мѣстѣ соединенія текутъ параллельно, но въ противоположныя стороны, можетъ служить примѣромъ третьяго случая.

Тоннели въ раздѣльныхъ бьефахъ.—Часто приходится давать этимъ сооруженіямъ значительныя длины. Тоннель de Saint-Quentin долгое время считали самымъ длиннымъ изъ всѣхъ тоннелей, имѣющихъ подобныя ему размѣры. Легко понять, что для уменьшенія огромныхъ затратъ слѣдуетъ, насколько возможно, уменьшать поперечное сѣченіе тоннелей, что приводитъ къ слѣдующимъ условіямъ:

Устроить поперечное сѣченіе русла для прохода одного судна, а не двухъ, такъ что судоходство попеременно черезъ опредѣленные промежутки времени совершается то въ одну, то въ другую сторону.

Устроить только одинъ банкетъ для бичевой тяги, чего впрочемъ вполне достаточно, такъ какъ судоходство можетъ одновременно совершаться только въ одну сторону.

Уменьшить до minimum'a размѣры банкета, т. е. ширину довести до 1,40 метра свободную высоту подъ сводомъ брать не менѣе 3 метровъ на разстояніи отъ банкета не меньшемъ одного метра.

Въ дѣйствительности поперечное сѣченіе тоннелей въ раздѣльныхъ бьефахъ французскихъ каналовъ почти не отличается отъ поперечнаго сѣченія тоннелей для желѣзныхъ дорогъ подъ два пути. Эти послѣдніе должны имѣть 8 метровъ ширины въ уровнѣ рельсовъ, откуда діаметръ арки получается равнымъ 8,00 до 8,70 метра, въ зависимости отъ того, вертикальна ли стѣнка устоя, или же она имѣетъ большій или меньшій уклонъ.

Ширина отверстія тоннеля, считая въ пятѣ свода, для раздѣльнаго бьефа равна обыкновенно 8 метрамъ. Такое совпаденіе размѣровъ желѣзнодорожныхъ тоннелей и тоннелей въ каналахъ, конечно, совершенно случайно, но оно позволяетъ инженерамъ при проектированіи каналовъ пользоваться опытомъ, приобретеннымъ при постройкѣ желѣзныхъ дорогъ, сооруженіе которыхъ очень часто требуетъ устройства тоннелей.

Поперечное сѣченіе большого тоннеля канала de Saint-Quentin (рис. 14) представляетъ сводъ съ діаметромъ въ 8 метровъ и съ вертикальными стѣнками устоевъ высотой въ 4 метра. Русло, дно котораго горизонтально, имѣетъ ширину



въ 6,60 метра; банкетъ для бичевой тяги шириною въ 1,40 метра поддерживается каменной вертикальной стѣнкой.

Глубина воды равна 2,60 метра, площадь живого сѣченія русла  $\Omega = 17,16$  кв. метра, а отношеніе этой площади къ площади погруженной части мидель-шпангоута  $\omega$ , для судовъ шириною въ 5 метровъ и осадкой въ 1,80 метра  $n = 1,91$ .

Уже давно тяга судовъ въ этомъ тоннелѣ эксплуатируется правительствомъ съ помощію механическихъ приспособленій.

Съ точки зрѣнія эксплуатаціи вертикальныя стѣнки устоевъ представляютъ серьезныя преимущества сравнительно съ наклонными стѣнками.

Въ послѣднемъ случаѣ, если суда прикасаются къ стѣнкамъ русла, то треніе происходитъ подъ водой, въ области угла между бортомъ судна и дномъ его,

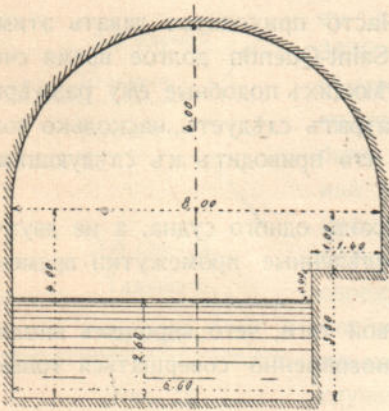


Рис. 14. Тоннель de S'-Quentin.

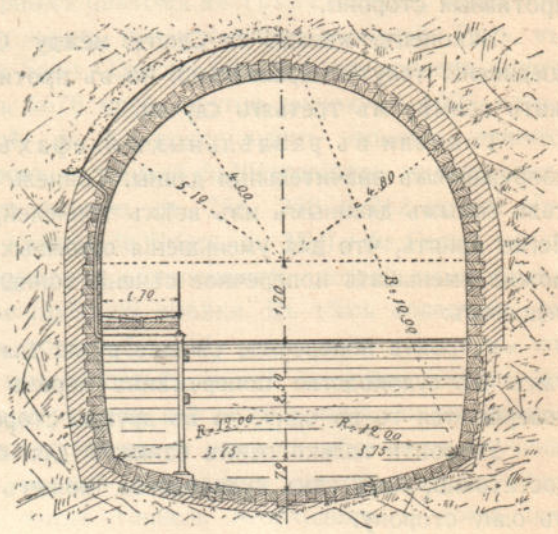


Рис. 14. Тоннель de Balesmes.

т. е. въ опасномъ мѣстѣ. Въ первомъ же случаѣ, напротивъ, тренію подвергается верхняя надводная часть борта; если произойдетъ какое-нибудь поврежденіе, то его легко исправить; кромѣ того въ надводной части можно легко предохранить судно отъ такихъ аварий посредствомъ предохранительныхъ приспособленій изъ веревокъ, которыя, ослабляя силу ударовъ, дѣлаютъ ихъ неопасными.

Тоннель de Mauvages, прорытый въ періодъ 1841—1846 гг., устроенъ въ раздѣльномъ бьефѣ канала отъ Марны къ Рейну, соединяющаго два склона—Марны и Мёзы. Длина тоннеля равна 4877 метр.; сводъ—полуциркульный діаметра 7,80 метр.

Въ этомъ тоннелѣ въ теченіи многихъ лѣтъ производились важныя работы по его укрѣпленію и расширенію, въ результатѣ которыхъ онъ представляетъ два различныхъ поперечныхъ профиля (рис. 15).

Нормальный профиль, примѣненный на большей части длины тоннеля, содержитъ банкетъ для бичевой тяги шириной въ 1,40 метр., поддерживаемый вертикальной каменной стѣнкой. Глубина воды равна 2,60 метра; ширина русла равна 5,50 метр. по дну и 6,28 въ уровнѣ воды; площадь живого сѣченія равняется



15,49 кв. метр., отношение  $n$  падаетъ до величины 1,72 для судовъ въ 5 метр. ширины при осадкѣ въ 1,80 метра.

Въ двухъ частяхъ тоннеля, изъ которыхъ каждая имѣетъ длину въ 600 метровъ, русло было уширено посредствомъ устройства дороги для бичевой тяги на эстакадѣ. Эстакада состоитъ изъ вертикальныхъ деревянныхъ стоекъ, врубленныхъ въ дно; верхнія части этихъ стоекъ соединяются посредствомъ продольныхъ схватокъ. Поперечины связываютъ эту вертикальную раму съ устоемъ свода; на поперечины кладется настилъ изъ досокъ, на которомъ располагается дорога для бичевой тяги.

Для направленія движенія судовъ и предохраненія ихъ отъ ударовъ стойки въ ихъ верхней части снабжаются деревянной обшивкой.

Площадь живого сѣченія въ уширенныхъ частяхъ возрастаетъ до 17,87 кв. метр., а  $n$  до 1,99.

Уширенія эти сдѣланы въ концѣ первой и второй трети длины тоннеля и въ общей сложности составляютъ только четвертую часть полной его длины, однако онѣ значительно способствовали улучшенію судоходныхъ условий, облегчая разсѣиваніе водяного вала впереди каравана судовъ.

Тоннель de Balesmes, начатый въ 1879 и законченный въ 1885 г., сооруженъ въ раздѣльномъ бьефѣ канала, идущаго отъ Марны къ Сонѣ; его длина равна 4820,45 метр.; сводъ полуциркульный съ діаметромъ въ 8 метр. (рис. 14).

Чтобы избѣжать уменьшенія живого сѣченія, бичевая дорога была устроена на эстакадѣ на всемъ протяженіи тоннеля; эстакада эта сдѣлана изъ металла. Дорога шириною въ 1,70 метра устроена на сводикахъ, поддерживаемыхъ поперечными балками, вдѣланными однимъ концомъ въ кладку, а другимъ концомъ упирающимися въ продольную балку, утвержденную на чугунныхъ колоннахъ,

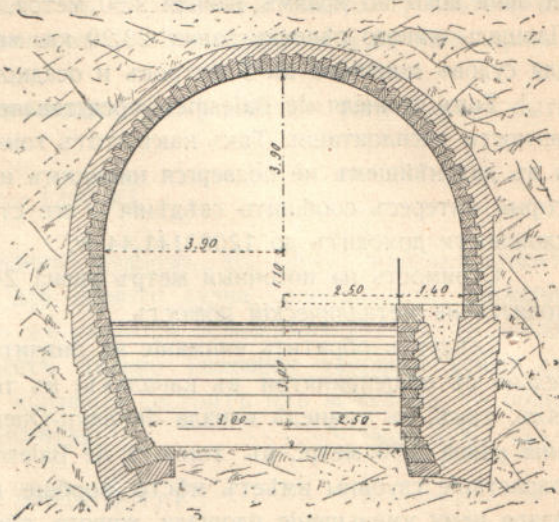


Рис. 15. Нормальный профиль.

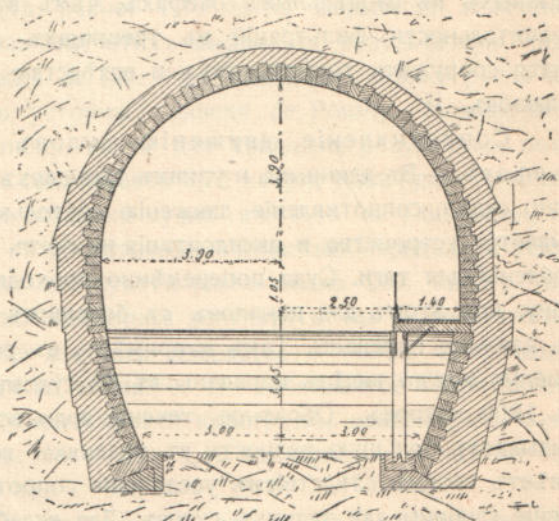


Рис. 15. Уширенный профиль.



поставленныхъ въ разстояніи 7 метр. другъ отъ друга. Въ промежуткѣ между колоннами три вертикальныхъ балки изъ корытообразнаго желѣза поддерживаютъ 2 продольныхъ горизонтальныхъ бруса изъ дуба, служащіе направляющими для движенія судовъ. Ширина русла равна 8 метрамъ въ уровнѣ воды и 7,50 метр. въ уровнѣ дна. Стрѣла кривизны лотка равна 0,72 метр., такъ что глубина воды по краямъ, равная 2,50 метра, по оси русла доходитъ до 3,22 метр. Площадь живого сѣченія равна 23,20 кв. метр.; отношеніе  $n$  доходитъ до 2,58 для судовъ шириною въ 5 метровъ и осадкой въ 1,80 метра.

Типъ туннеля de Balesmes представляетъ преимущества съ точки зрѣнія легкости эксплуатаціи. Такъ какъ этотъ туннель построенъ сравнительно недавно и въ дальнѣйшемъ не подвергся никакимъ измѣненіямъ, то представляетъ нѣкоторый интересъ сообщить свѣдѣнія о его стоимости. Полный расходъ въ общей сложности доходитъ до 12003141,44 fr.

Стоимость на погонный метръ равна 2490,05 fr., изъ которой 95,15 fr. приходится на металлическій помостъ.

Слѣдуетъ обратить вниманіе на значительное увеличеніе глубины (сравнительно съ общепринятой въ каналахъ) въ только что разсмотрѣнныхъ туннеляхъ: такъ, въ туннелѣ канала de Saint-Quentin и въ туннелѣ de Mauvages глубина равна 2,50 метр., въ туннелѣ de Balesmes отъ 2,5 до 3,22 метр., такое возрастаніе глубины имѣетъ мѣсто вообще всегда въ раздѣльномъ бьефѣ, благодаря чему уменьшеніе площади живого сѣченія вслѣдствіе прохожденія судна не бываетъ слишкомъ значительнымъ; съ другой стороны, увеличеніе глубины уменьшаетъ вліяніе пониженій горизонта воды, болѣе частыхъ и болѣе значительныхъ въ раздѣльныхъ бьефахъ, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ, какъ вслѣдствіе значительности фильтрацій въ трещинахъ скалъ, въ которыхъ часто приходится сооружать туннель, такъ и вслѣдствіе выпуска воды изъ двухъ крайнихъ шлюзовъ.

Сопротивленіе движенію судовъ въ туннеляхъ раздѣльныхъ бьефовъ. — Въ длинныхъ и узкихъ туннеляхъ, пропускающихъ въ ширину только одно судно, сопротивленіе движенію настолько значительно, что вполне оправдывается устройство и эксплуатація на счетъ государства механическихъ приспособленій для тяги. Суда попеременно проходятъ, то въ одну, то въ другую сторону, при этомъ для каналовъ съ большимъ грузооборотомъ они соединяются въ длинные караваны. Такъ напримѣръ, въ раздѣльномъ бьефѣ канала de Saint-Quentin можно видѣть караваны въ 35 судовъ, что въ общемъ составитъ длину въ 1800 метровъ. Обратное теченіе воды вслѣдствіе движенія такого каравана вызываетъ большую разность въ уровняхъ воды спереди и сзади каравана, что имѣетъ своимъ слѣдствіемъ увеличеніе сопротивленія движенію и опасное уменьшеніе глубины для заднихъ судовъ. Для ослабленія этихъ вредныхъ вліяній приходится значительно уменьшать скорость движенія, а иногда даже и совсѣмъ останавливать караванъ, чтобы дать сравняться уровнямъ воды спереди и сзади.

Главный инспекторъ мостовъ и дорогъ Bazin дѣлалъ опыты относительно тяги судовъ въ туннелѣ de Pouilly въ раздѣльномъ бьефѣ канала de Bourgogne; результаты этихъ опытовъ были описаны въ Annales des Ponts et Chaussées (1868, 2-e semestre) и, хотя они нѣсколько и устарѣли, тѣмъ не менѣе заслуживаютъ упоминанія.



Опыты производились съ судами длиною въ 30 метр., шириною въ 5 метр. и наибольшей осадкой въ 1,40 метра; типъ судна—плоскодонный. Средняя скорость равнялась 0,76 метр. въ секунду; дѣйствительныя скорости незначительно отличались отъ этой скорости. Въ теченіе производства опытовъ глубина воды измѣнялась не болѣе какъ отъ 2,30 метр. до 2,35 метр.; ширина русла по дну равнялась 5,70 метр., а въ уровнѣ воды въ среднемъ 6,20 метрамъ; поэтому въ среднемъ можно принять живое сѣченіе въ 13,83 кв. метр. и  $n$  въ 1,98, принимаемая наибольшую осадку въ 1,40 метр.

При такихъ условіяхъ М. Bazin нашель, что усиліе для тяги можетъ быть приближенно выражено формулой:

$$E = 1200 V^2,$$

когда приходилось имѣть дѣло съ однимъ судномъ. Въ случаѣ многихъ судовъ, соединяемыхъ въ караванъ, только для перваго судна сопротивленіе движенію опредѣляется по этой формулѣ; что же касается остальныхъ судовъ, то усиліе, необходимое для ихъ тяги, составляетъ только половину такового усилія для перваго судна, такъ что, если весь караванъ состоитъ изъ  $m$  судовъ, то общее усиліе для тяги опредѣлится изъ формулы:

$$E_m = 600 (m + 1) V^2.$$

Пользуясь вышеприведенной формулой, мы найдемъ, что усиліе для тяги разсматриваемаго судна при данныхъ выше условіяхъ, т. е. скорости 0,76 метра въ сек., величинѣ  $n = 1,98$  и осадкѣ, равной 1,40 метр., выразится величиной въ 693 кг. Не лишено интереса сравненіе этихъ цифръ съ результатами опытовъ съ судномъ «Jeanne» въ выемкѣ de Balesmes, каменные стѣнки русла которой очень близко подходят къ устоямъ тоннеля de Pouilly. Можно, безъ опасенія сдѣлать существенную ошибку, взять для сравненія результаты, полученные при скорости 0,75 метр. въ сек. (вмѣсто 0,76 метр.); усилія для тяги были въ дѣйствительности найдены при осадкахъ судна въ 1,30 и 1,60 метр., но, прибѣгая къ интерполяціи, можно съ достаточной точностью опредѣлить усиліе соотвѣтствующее осадкѣ 1,40 метр; оно будетъ равно около 281 килогр. при величинѣ  $n$  равной 2,74. Сопоставляя найденные результаты, мы видимъ, что при измѣненіи  $n$  отъ 2,74 до 1,98 усиліе для тяги возрастаетъ болѣе чѣмъ вдвое, т. е. отъ 281 до 693 клг. Принимая во вниманіе, что собственное сопротивленіе разсматриваемаго судна равно приблизительно 81 килогр., мы найдемъ, что коэффициентъ сопротивленія пути возрастаетъ отъ 3,47 въ первомъ случаѣ до 8,56 во второмъ.

Слѣдуетъ обратить должное вниманіе на то, что усиліе для тяги каждого слѣдующаго судна каравана гораздо меньше, чѣмъ для впереди идущаго. Это явленіе наблюдается также при движеніи каравана судовъ въ рѣкѣ, если расположить суда достаточно близко одно послѣ другого.

Тоннели для одновременнаго судоходства въ обѣ стороны.—Длинные и узкіе тоннели въ раздѣльныхъ бьефахъ представляютъ значительныя затрудненія для судоходства; сюда относится потеря времени вслѣдствіе возможности двигаться въ данномъ направленіи только въ опредѣленные часы, возра-



станіе стоимости тяги вслѣдствіе увеличенія сопротивленія и проч. Подобные тоннели можно допустить только въ одномъ мѣстѣ канала, имѣя въ виду большую экономію въ расходахъ на первоначальное сооруженіе. Но устройство ихъ ничѣмъ не можетъ быть оправдываемо въ другихъ мѣстахъ канала. Поэтому тамъ, гдѣ потребуется по мѣстнымъ условіямъ устроить тоннель, ему даютъ достаточную ширину для возможности одновременнаго судоходства въ обѣ стороны.

Изъ тоннелей такого типа мы рассмотримъ тоннель de Condes, построенный въ теченіи 1883—1886 г. (рис. 16). Его длина равна только 307,75 метр., ширина русла—16 метрамъ, изъ которыхъ 11 метр. предназначены для движенія судовъ, а 5 метровъ для двухъ дорогъ для бичевой тяги, полагая для каждой

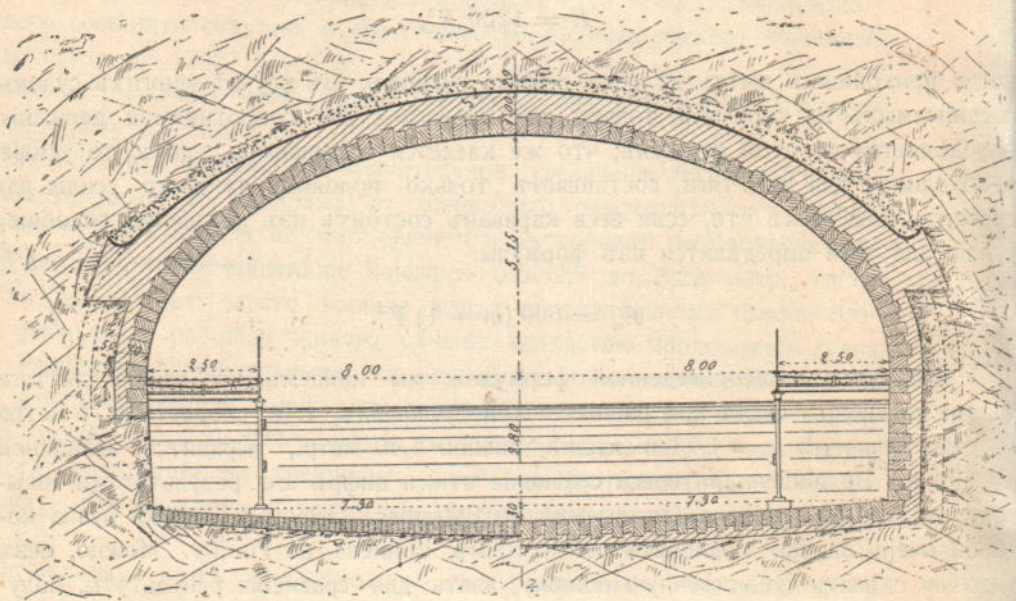


Рис. 16.

2,50 метр.; эти дороги устроены на металлических эстакадахъ, подобныхъ примѣненнымъ въ тоннелѣ de Balesmes.

Полный расходъ на сооруженіе тоннеля составилъ сумму въ 964 273 fr., что даетъ на погонный метръ 3133,30 fr., изъ которыхъ 240 fr. приходится на сооруженіе металлических эстакадъ для бичевника.

Едва ли слѣдуетъ говорить о томъ, что размѣры только что описанныхъ тоннелей находятся въ соотвѣтствіи съ размѣрами судовъ, плавающихъ во французскихъ каналахъ, типа, установленнаго закономъ. Для каналовъ, могущихъ пропускать суда болѣе значительнаго водоизмѣщенія, естественно, должны быть увеличены размѣры тоннелей. Такъ, въ предварительномъ проектѣ канала отъ Марсели до Роны тоннель du Rove предположенъ для одного пути, но для возможности пропуска большихъ грузовыхъ судовъ Роны онъ имѣетъ въ ширину 22,50 метр., считая въ уровнѣ банкетовъ для бичевой тяги (на 6 метровъ выше дна) и 16,20 метр. высоты подъ ключемъ свода.

При проектированіи канала очень важно бываетъ опредѣлить тѣ точки, въ которыхъ дѣлается переходъ отъ выемки къ тоннелю. Пусть  $a$  ширина по дну,



$x$  — глубина выемки, и откосъ имѣетъ заложеніе равное половинѣ высоты. Объемъ выемки на одинъ погонный метръ выразится такъ:

$$N = a \times x + \frac{x^2}{2}.$$

$$p(a+mx)x = p_m$$

Если  $p$  — стоимость кубическаго метра выемки, а  $P$  — стоимость устройства погоннаго метра тоннеля, то мы получимъ слѣдующее равенство:

$$P = p \left( a \times x + \frac{x^2}{2} \right).$$

Отсюда мы имѣемъ:

$$x = -a + \sqrt{a^2 + \frac{2P}{p}}.$$

Слѣдовательно для всѣхъ величинъ  $x$ , превосходящихъ полученную изъ уравненія, предпочтительнѣе устройство тоннеля.

### ГЛАВА III.

#### Сооруженія при встрѣчѣ каналовъ съ грунтовыми путями сообщенія.

Неподвижные мосты.— Мосты подъ каналами или судоходные мосты.— Грунтовые пути сообщенія, встрѣчаемые каналомъ, могутъ занимать относительно него различныя положенія, но всѣ эти положенія могутъ быть подведены подъ три слѣдующія группы: 1) Грунтовый путь проходитъ на достаточной высотѣ надъ каналомъ, такъ что суда могутъ свободно проходить подъ нимъ. Необходимо устройство неподвижнаго моста надъ каналомъ. 2) Грунтовый путь пересѣкаетъ каналъ въ уровнѣ воды, или же на незначительной высотѣ, такъ что судоходство подъ нимъ невозможно. Необходимо устройство подвижнаго моста, т. е. такого сооруженія, которое можетъ попеременно занимать два положенія— одно, соотвѣтствующее непрерывности грунтоваго пути и перерыву судоходства, другое — обратнымъ условіямъ. 3) Грунтовый путь встрѣчаетъ каналъ на такой высотѣ, что его габаритъ можно свободно помѣстить подъ дномъ канала. Необходимо устройство моста подъ каналомъ или такъ называемаго судоходнаго моста.

Неподвижные мосты должны удовлетворять главному условію — не стѣснять судоходства. Во Франціи на каналахъ, рассчитанныхъ на движеніе одного судна, пролетъ въ свѣту долженъ быть не менѣе 5,20 метр., — что соотвѣтствуетъ наименьшей ширинѣ шлюза на такихъ каналахъ, а высота надъ самымъ высокимъ горизонтомъ должна быть не менѣе 3,70 метр. Съ увеличеніемъ ширины обыкновенно увеличиваютъ и высоту; такъ въ канализованной части Сены, гдѣ ширина шлюзовъ доходитъ до 12 метр., высоту принимаютъ въ 5,50 метр.

Для возможности бичевой тяги подъ мостами должны устраиваться спеціальныя банкеты шириною 2,50 метр. Впрочемъ иногда устраиваютъ только одинъ банкетъ, или же другой дѣлаютъ шириной въ 1 метръ для прохода людей.



Свободная высота надъ банкетомъ должна быть при конной тягѣ не меньше 2,70 метр.

Если мы обозначимъ черезъ  $B$ —ширину самага широкаго судна, плавающего по каналу, то, принимая 1 метръ зазора между банкетами и судномъ, получимъ отверстіе моста равнымъ  $B + 4,50$  или  $B + 6$  метр., въ зависимости отъ того, будетъ ли примѣнена конная тяга на одномъ или же на обоихъ берегахъ. При  $B=5$  метр., получимъ отверстіе отъ 9,50 до 11 метровъ. Слѣдуетъ обратить вниманіе еще на то обстоятельство, что подъ мостомъ величина  $n$  при указанныхъ выше размѣрахъ падаетъ до 1,47, что указываетъ на чрезмѣрное сопротивление движенію судовъ. Чтобы нѣсколько смягчить это явленіе, слѣдуетъ увеличить глубину канала подъ мостомъ или устроить по крайней мѣрѣ хоть одинъ изъ банкетовъ на эстакадѣ.

Если каналъ устроенъ такой ширины, что позволяетъ въ любомъ мѣстѣ разойтись двумъ встрѣчнымъ судамъ, то возникаетъ вопросъ, что предпочтительнѣе, видоизмѣнить ли поперечное сѣченіе канала подъ мостомъ такъ, чтобы получить какъ можно меньшее его отверстіе, или же, наоборотъ, довести это отверстіе до такой величины, чтобы можно было вовсе избѣжать видоизмѣненія поперечнаго сѣченія канала. Въ первомъ случаѣ обыкновенно принимаютъ прямоугольное сѣченіе шириною на 1,50—2,00 метра болѣе двойной ширины  $B$  судна. Что касается до устройства банкетовъ, то здѣсь сохраняютъ свою силу высказанныя выше соображенія. Такимъ образомъ отверстіе моста въ этомъ случаѣ выразится слѣдующимъ образомъ:

$$L = 2B + 1,5 + 2,5 + 1,00 = 2B + 5,00 \text{ метр.}$$

или

$$L = 2B + 2,00 + 2 \times 2,50 = 2B + 7,00 \text{ метр.}$$

Для каналовъ типа, установленнаго закономъ во Франціи, эти выраженія соотвѣтственно даютъ 15 и 17 метровъ.

Для правильности движенія воды въ каналѣ, равно какъ и въ цѣляхъ облегченія условій тяги, очень важно, чтобы переходъ отъ нормальнаго поперечнаго сѣченія къ суженному подъ мостомъ совершался постепенно. Поэтому обыкновенно сопряженіе вертикальной стѣнки, поддерживающей банкетъ, съ нормальнымъ откосомъ, обыкновенно полуторнымъ, дѣлается по косой плоскости на протяженіи 20 метр. выше и ниже моста, какъ это видно на рис. 17.

По всей длинѣ этого сопряженія откосы необходимо укрѣпить, при чемъ это укрѣпленіе, начиная отъ вертикальной стѣнки и кончая тѣмъ мѣстомъ, гдѣ образующая откоса наклонена подъ угломъ въ  $45^\circ$ , дѣлается изъ кладки на растворѣ, а на остальномъ протяженіи изъ сухой кладки. Итакъ мы видимъ, что уменьшеніе отверстія моста сопряжено съ расходами на устройство банкетовъ и береговыхъ укрѣпленій, и эти расходы обыкновенно настолько значительны, что сводятъ на нѣтъ ту экономію, которая получается отъ уменьшенія отверстія моста. При такихъ условіяхъ слѣдуетъ предпочесть мостъ съ большимъ отверстіемъ, благодаря чему нормальное поперечное сѣченіе канала остается почти неизмѣннымъ. На рис. 17-мъ пунктиромъ показанъ планъ очертаній моста въ послѣднемъ случаѣ.



Всѣ неподвижные мосты надъ каналомъ слѣдуетъ устраивать однопролетные, такъ какъ всякій промежуточный быкъ, помѣщенный въ каналѣ, не только стѣснителенъ для судоходства, но даже представляетъ прямую опасность, въ особенности ночью.

Что касается до конструкции неподвижныхъ мостовъ, то она ничѣмъ не отличается отъ другихъ мостовъ, устраиваемыхъ вообще надъ водными путями, и всецѣло зависитъ отъ того движенія, которое по нимъ можетъ совершаться.

Подвижные мосты.—Подвижные мосты на каналахъ соотвѣтствуютъ переѣздамъ на желѣзныхъ дорогахъ. Съ точки зрѣнія движенія по грунтовому пути частые и продолжительные перерывы его вслѣдствіе прохода судовъ пред-

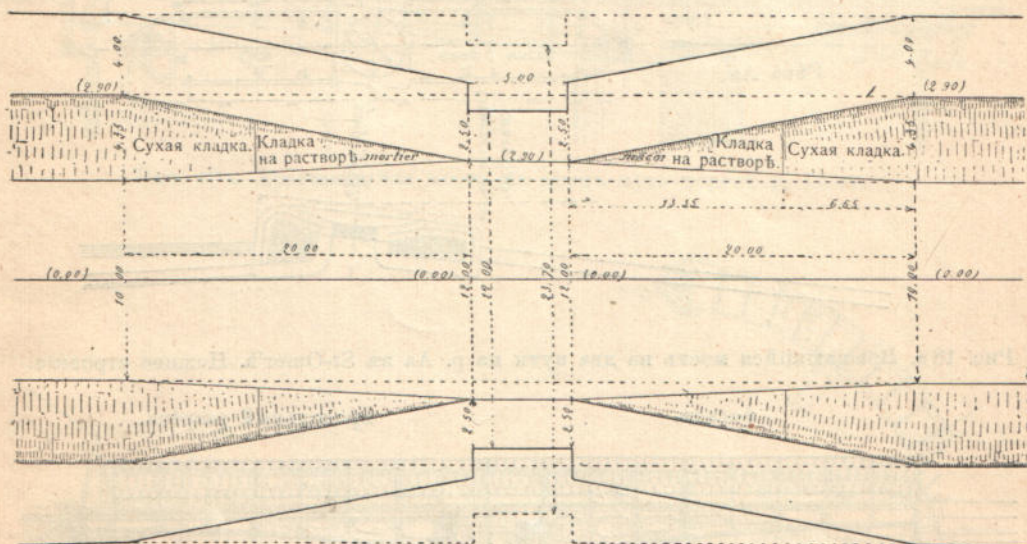


Рис. 17. Схематическій планъ.

ставляютъ существенное стѣсненіе для экипажей<sup>1)</sup>, особенно когда путь ведетъ къ станціи желѣзной дороги. Съ другой стороны подвижной мостъ не требуетъ видоизмѣненія продольнаго профиля грунтоваго пути, что выгодно въ экономическомъ отношеніи и особенно важно въ равнинныхъ странахъ, гдѣ необходимость устройства крутыхъ подъѣмовъ и спусковъ при подходахъ къ неподвижнымъ мостамъ измѣняетъ обычныя условія движенія въ этихъ странахъ.

На шлюзованныхъ каналахъ подвижные мосты обыкновенно устраиваютъ въ шлюзахъ, такъ какъ во первыхъ здѣсь каналъ имѣетъ наименьшую ширину, а во вторыхъ стѣнами шлюза можно воспользоваться въ качествѣ устоевъ.

Оставляя въ сторонѣ описаніе большихъ подвижныхъ мостовъ, какъ имѣющихъ большое значеніе въ портахъ, мы ограничимся здѣсь разсмотрѣніемъ наиболѣе простыхъ типовъ этихъ сооружений, обычно примѣняемыхъ на каналахъ, а именно: 1) вращающихся мостовъ и 2) подъемныхъ мостовъ.

Вращающіеся мосты.—Вращающіеся мосты, какъ показываетъ самое

<sup>1)</sup> Для пѣшеходовъ это стѣсненіе можетъ быть легко устранено устройствомъ постоянного мостика на достаточной для свободнаго судоходства высотѣ надъ каналомъ. Благодаря чрезвычайно легкой конструкціи стоимость такихъ мостовъ вообще незначительна.



название, состоятъ изъ подвижного верхняго строенія, которое можетъ вращаться въ горизонтальной плоскости около вертикальной оси. Въ одномъ изъ крайнихъ положеній верхнее строеніе соединяетъ оба устоя, причемъ прерывается судо-

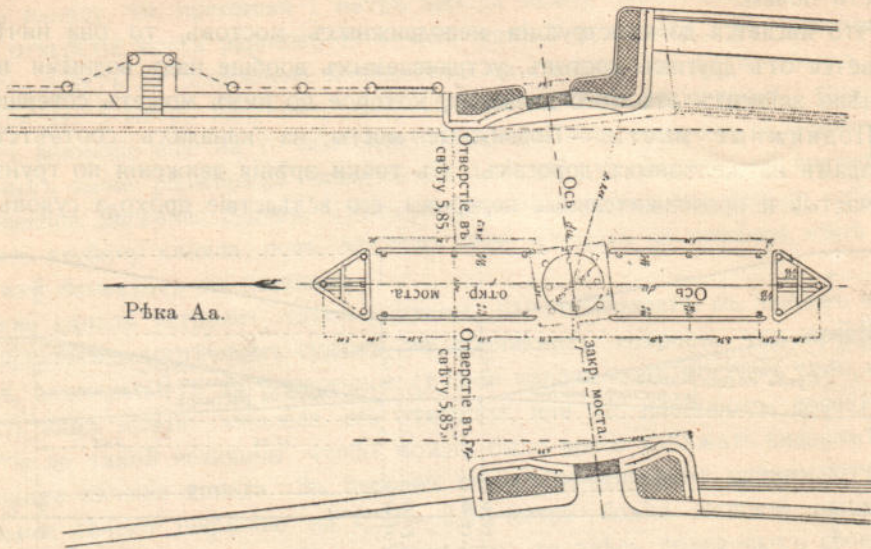


Рис. 18 а. Вращающийся мостъ на два пути на р. Аа въ St-Omer'ѣ. Нижнее строеніе.

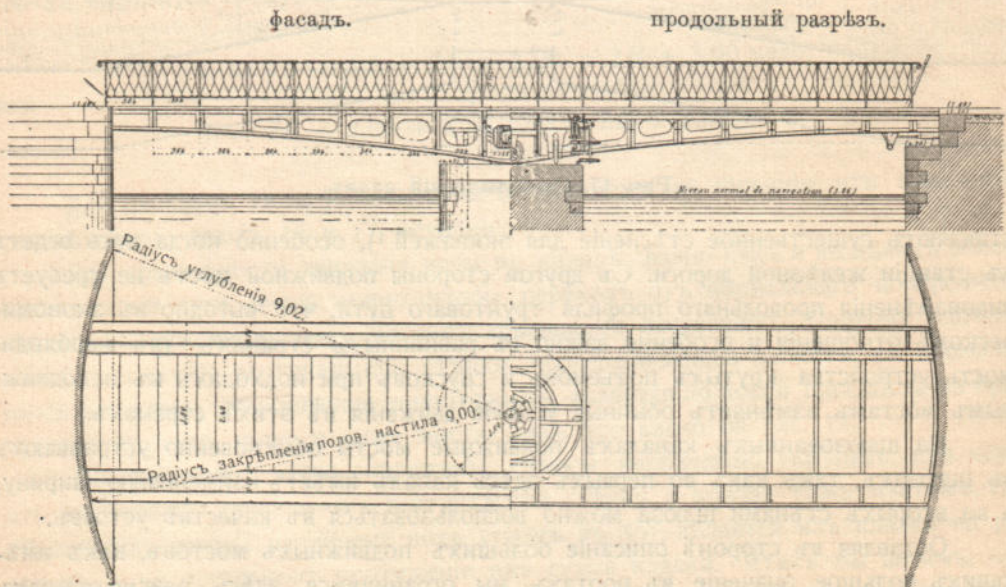


Рис. 18 б. Планъ на разн. горизонтахъ.

ходство, и устанавливается непрерывность грунтоваго пути; въ другомъ крайнемъ положеніи моста имѣютъ мѣсто какъ разъ обратныя условія.

Нижнее строеніе моста. — Подъ этимъ названіемъ мы подразумѣваемъ неподвижныя и главнымъ образомъ каменные части сооруженія.

Въ наиболѣе употребительномъ въ настоящее время устройствѣ необхо-





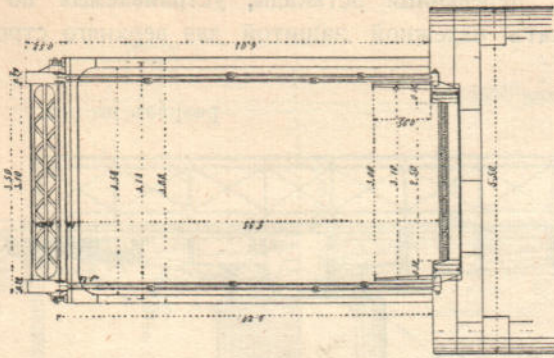


строения мостовъ, то мы ихъ касаться не будемъ, такъ какъ эти детали скорѣе относятся къ курсу мостовъ, чѣмъ къ настоящему труду.

Мостъ перваго типа изображенъ на схематическомъ рис. 18 а и б, а второго на рис. 19 а и б<sup>1)</sup>.

Подъемные мосты. Подъемный мостъ съ противовѣсомъ. — На рис. 20 изображенъ типъ такого моста, имѣвшаго примѣненіе на Сѣверѣ и Востокѣ Франціи. Главныя части его слѣдующія: 1° — вращающійся помостъ, на одномъ концѣ котораго прикрѣплены двѣ цапфы, вращающіяся въ двухъ подшипникахъ, задѣланныхъ въ кладку устоя; другой конецъ опирается на другой устой и, когда пролетъ закрытъ, удерживается въ этомъ состояніи задвижкой. 2° — двѣ вертикальныя стойки, устанавливаемыя на устоѣ, нѣсколько отступя отъ лицевой его грани, и соединенныя наверху поперечиной. 3° — противовѣсъ, состоящій изъ двухъ неизмѣнно связанныхъ балокъ, вращающихся около оси *n*, параллельной оси *m*. Для возможности вращенія противовѣсъ снабжается двумя цапфами, опирающимися на подшипники, укрѣпленные въ верхней части стоекъ, а цѣпями онъ соединяется съ вращающимся помостомъ.

Попер. разрѣзъ по СС.



Продольный фасадъ.

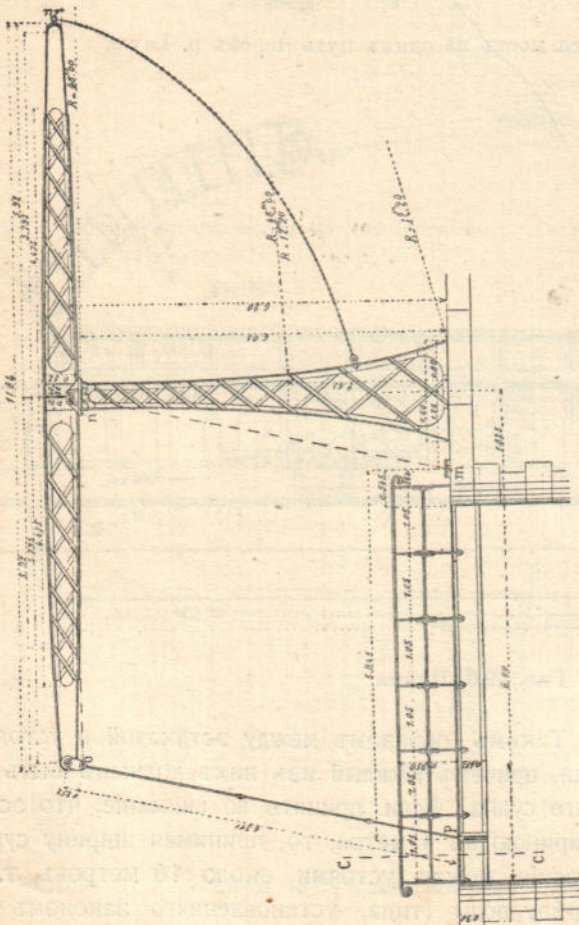


Рис. 20. Подъемный мостъ съ противовѣсомъ.

Помостъ состоитъ изъ двухъ составныхъ балокъ со сплошною стѣнкою, соединенныхъ поперечными балками, поддерживающими двойной деревянный на

<sup>1)</sup> Интересующихся деталями верхняго строенія и опорныхъ частей этихъ мостовъ мы отсылаемъ къ труду де-Маса «Сапах», стр. 74—97.



стиль. Ширина проезжей части обыкновенно дѣлается равной 2,50 метр., считая между поясами балокъ. Ширина поясовъ около 0,30 метра; такимъ образомъ, полная ширина верхняго строенія равняется около 3,10 метр. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ кромѣ проезжей части имѣются еще и троттуары, ширина которыхъ доходитъ до 1 метра, такъ что полная ширина помоста будетъ тогда равна 4,10 метра (рис. 21).

Стойки, поддерживающія противовѣсъ, имѣютъ сквозную стѣнку; въ нижней части онѣ укрѣпляются въ кладкѣ посредствомъ болтовъ. Двѣ параллельныя балки, составляющія противовѣсъ, имѣютъ также сквозную стѣнку на большей

Продольн. фасадъ верх. стр.

Продольн. разр. верх. стр. на опорѣ.

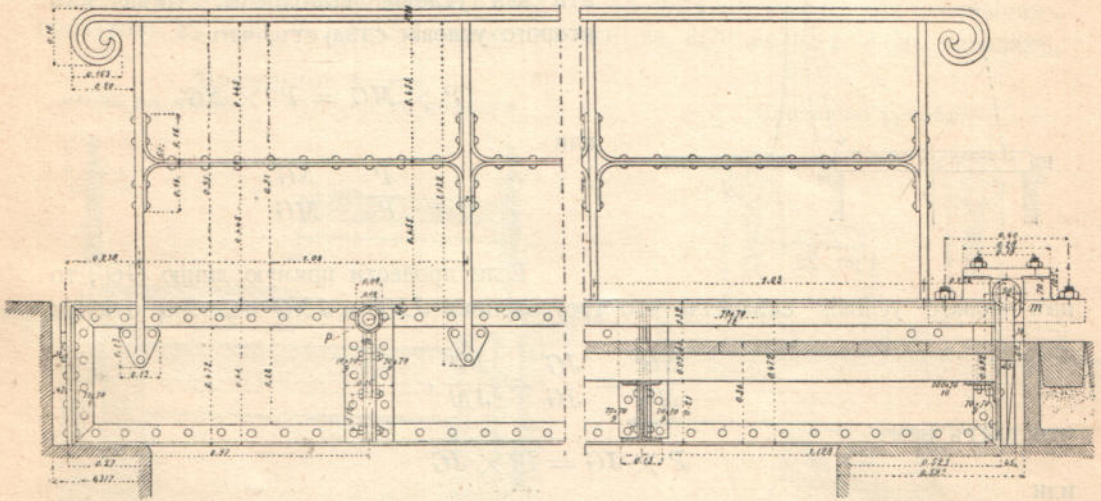


Рис. 21.

части ихъ длины; сплошной она дѣлается только по серединѣ и на концахъ балокъ. Эти балки соединяются поперечинами: на концахъ, ближайшихъ къ помосту, круглымъ желѣзомъ, служащимъ вмѣстѣ съ тѣмъ для прикрѣпленія подъемныхъ цѣпей; по серединѣ — балкой со сквозной стѣнкой; наконецъ на другихъ концахъ — чугунной балкой коробчатаго сѣченія, служащей одновременно главнымъ противовѣсомъ и ящикомъ для помѣщенія добавочныхъ грузовъ.

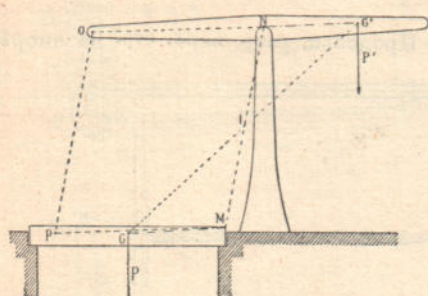
Способъ маневрированія мостомъ очень простъ. Положимъ, что надо поднять мостъ. Тогда отодвигаютъ задвижку и тянутъ за цѣпь, прикрѣпленную къ заднему концу противовѣса. Если желаютъ снова опустить мостъ, то предоставляютъ его дѣйствію собственной тяжести, отпуская при этомъ цѣпь и слегка подталкивая противовѣсъ снизу вверхъ. Если въ концѣ этой операціи мостъ все-таки не вполне опустится, то, чтобы совершенно закрыть его, мостовому сторожу достаточно надавить на него своею тяжестью, причемъ задвижка дѣйствуетъ автоматически.

При подъемѣ моста можетъ произойти ударъ периль о поперечину, соединяющую стойки въ ихъ верхней части. Чтобы сдѣлать эти удары безвредными, на поперечинѣ помѣщаются въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ два каучуковыхъ упора.



Для лучшаго функціонуванія сооруженія необходимо: 1°—чтобы четырех-угольникъ, образованный четырьмя точками *mnop*, показанными на рис. 22, представлялъ бы параллелограммъ; 2°—чтобы система оставалась въ равновѣсїи во всѣхъ своихъ положенїяхъ такъ, чтобы для маневрированія мостомъ достаточно было небольшого усилія.

Необходимость перваго условія очевидна à priori, что же касается до второго, то, обозначая черезъ *G* и *P*, *G'* и *P'* центры тяжести и вѣса верхняго строенія моста и противовѣса, будемъ имѣть слѣдующія необходимыя и достаточныя условія равновѣсія: 1° — Линїи *MG* и *NG'* должны быть параллельны,



2°—длины *MG* и *NG'* должны быть обратно пропорціональны вѣсамъ *P* и *P'*. Пусть эти два условія выполнены, тогда изъ второго условія слѣдуетъ, что

$$P \times MG = P' \times NG'$$

или

$$\frac{P}{P'} = \frac{NG'}{MG}$$

Рис. 22.

Если провести прямую линію *GG'*, то изъ перваго условія слѣдуетъ, что треугольники *JMG* и *JNG'* подобны, откуда:

$$\frac{NG'}{MG} = \frac{JG'}{JG} = \frac{NJ}{JM},$$

что даетъ намъ

$$P \times JG = P' \times JG'$$

или

$$P \times JM = P' \times JN.$$

Центръ тяжести системы находится, слѣдовательно, въ точкѣ *J*, дѣлящей линію *MN* на части, обратно пропорціональныя вѣсамъ *P* и *P'*. Но прямая *MN* неподвижна для данной системы; отсюда слѣдуетъ, что центръ тяжести системы не мѣняетъ своего положенія въ пространствѣ при всѣхъ послѣдовательныхъ положенїяхъ моста и противовѣса. Такимъ образомъ при маневрахъ съ мостомъ приходится преодолевать лишь второстепенныя сопротивленія.

При сооруженіи подъемнаго моста съ противовѣсомъ нетрудно выполнить различныя условія, только что указанныя выше.

Параллелизмъ линій *MN* и *OP* съ одной стороны и *MP* и *ON* съ другой является однимъ изъ данныхъ условій конструкціи.

Далѣе, металлъ распредѣляется въ верхнемъ строеніи моста и въ противовѣсѣ такъ, чтобы соотвѣтствующіе вѣса и положенія центровъ тяжести удовлетворяли необходимымъ соотношенїямъ. Предварительно дѣлаютъ провѣрку путемъ расчета, а окончательно регулируютъ равновѣсіе уже при сборкѣ моста.

Выше мы уже указывали, какимъ образомъ постоянный вѣсъ противовѣса можетъ быть увеличенъ добавочными грузами. Той же цѣли можно достигнуть посредствомъ противовѣсовъ, передвигаемыхъ вдоль верхняго строенія моста. Благодаря тому что деревянный настилъ можетъ колебаться въ вѣсѣ въ зависи-



мости отъ намокания или высыхания, система требуетъ частой регулировки. Въ цѣляхъ устраненія этого недостатка деревянный настилъ замѣняютъ покрытіемъ изъ канатовъ, сдѣланныхъ изъ волоконъ алое, причемъ обыкновенно пользуются старыми канатами съ горныхъ промысловъ. Они имѣютъ прямоугольное сѣченіе шириной отъ 0,25 до 0,30 метра толщиной 0,03 до 0,04 метра. Разрѣзывая канаты на отрѣзки потребной длины, укладываютъ ихъ такъ же, какъ и доски: тщательно обмазывая ихъ смолой и плотно прижимая другъ къ другу, можно получить почти непроницаемое покрытие, по которому вода скатывается, не попадая во внутрь. Такой настилъ очень удобенъ для лошадей и служитъ очень долго, а потому получилъ широкое распространеніе въ Сѣверной Франціи не только въ подвижныхъ, но и въ нѣкоторыхъ неподвижныхъ мостахъ.

Подъемные мосты могутъ примѣняться съ выгодой только для небольшихъ пролетовъ въ 5,20—6 метр. и самое большее въ 8,20 метр. т. е. въ каналахъ,

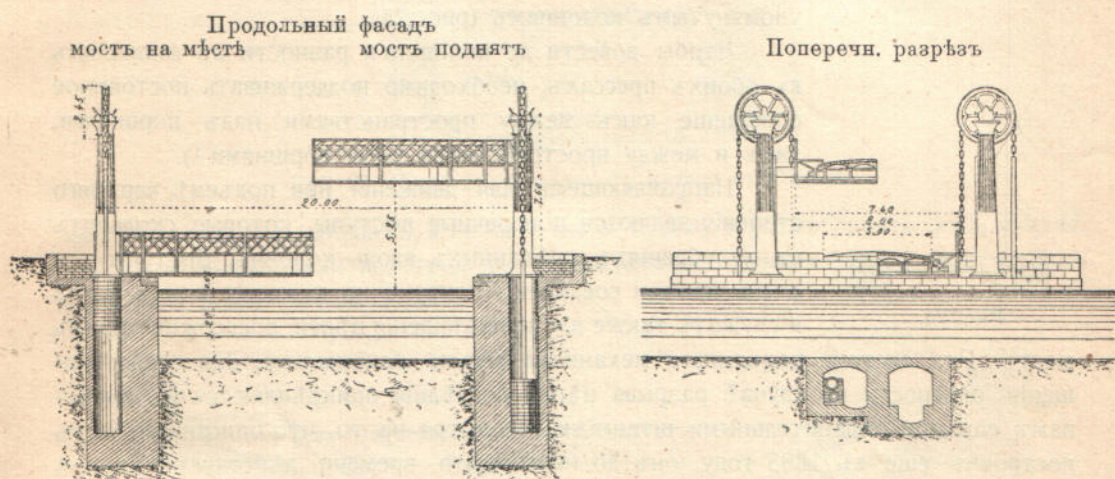


Рис. 23.—Подъемный мостъ улицы de Crimée въ Парижѣ.

гдѣ ширина допускаетъ проходъ одного судна. Удобно устраивать ихъ въ шлюзахъ, въ которыхъ стѣны могутъ служить устоями, и гдѣ бичевникъ устраивается съ одной только стороны.

Другой типъ подъемныхъ мостовъ.—Ниже мы рассмотримъ два типа подъемныхъ мостовъ, верхнее строеніе которыхъ поднимается параллельно самому себѣ на такую высоту, чтобы дать свободный проходъ судамъ.

Подъемный мостъ на каналѣ Saint-Denis въ Парижѣ (рис. 23) сооруженъ черезъ судоходный путь шириною въ 15 метр. и глубиною въ 3,20 метра; ширина проѣзжей части черезъ мостъ равна 5 метрамъ, а по бокамъ устроены два троттуара шириною въ 1,20 метра. Когда мостъ опущенъ, свободная высота надъ нормальнымъ горизонтомъ воды въ каналѣ равна 0,65 метр. Для пропуска судна она можетъ быть увеличена до 5,25 метра, причемъ верхнее строеніе остается на такой высотѣ обыкновенно отъ 50 до 80 секундъ.

Верхнее строеніе моста вѣситъ 85 тоннъ. Оно уравнивается четырьмя противовѣсами, которые помѣщаются ниже горизонта воды въ колодцахъ изъ кладки, непроницаемой для воды. Видимая часть механизма состоитъ изъ цѣпей, блоковъ и чугунныхъ колоннъ, поддерживающихъ блоки. Такъ какъ мостъ уравни-



новѣшенъ, то усилія, необходимыя какъ для подъема, такъ и для спуска одинаковы и не превосходятъ 5 тоннъ.

Вся система приводится въ дѣйствіе двумя гидравлическими прессами, помѣщенными подъ мостомъ на обоихъ концахъ его и питаемыхъ водою изъ городского водопровода. Цилиндры прессовъ задѣланы въ кладку поддерживающихъ колоннъ, а поршни прочно соединены съ верхнимъ строеніемъ. Одновременность движенія обоихъ поршней обезпечивается слѣдующимъ способомъ.

Къ верхнему строенію прикрѣпляется продольный валъ *A*, который посредствомъ двухъ паръ коническихъ зубчатыхъ колесъ *a, b* и *a', b'* соединяется съ двумя поперечными валами *B* и *B'*, прикрѣпленными также къ верхнему строенію на его концахъ. На концы валовъ *B* и *B'* наглухо насажены цилиндрическія зубчатая колеса, которыя приходятъ въ сцѣпленіе съ зубчатыми рейками, неподвижно прикрѣпленными къ вышеупомянутымъ колоннамъ (рис. 24).

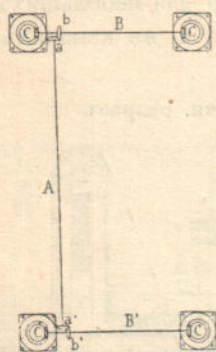


Рис. 24.

Чтобы довести до minimum'a разности въ давленіяхъ въ обоихъ прессахъ, необходимо поддерживать постоянное сообщеніе какъ между пространствами надъ поршнями, такъ и между пространствами подъ поршнями <sup>1)</sup>.

Направляющими для движенія при подъемѣ верхняго строенія являются поперечные выступы, которые скользятъ въ углубленіяхъ, сдѣланныхъ вдоль колоннъ. Выступы эти очень прочно соединены попарно на каждомъ концѣ моста и служатъ также для прикрѣпленія цѣпей, поддерживающихъ мостъ. Эта система подъемаго механизма весьма рациональна. Для предотвращенія опасности въ случаѣ разрыва цѣпей послѣднія прикрѣпляются къ выступамъ еще предохранительными штангами. Несмотря на то, что описанный мостъ построенъ еще въ 1885 году, онъ до настоящаго времени дѣйствуетъ вполне исправно, что служитъ лучшимъ подтвержденіемъ цѣлесообразности конструкции.

Подъемный мостъ de Larrey, построенный въ 1890 году на Бургундскомъ каналѣ въ Dijon'ѣ, имѣетъ пролетъ въ 9,80 метровъ, причемъ ширина воднаго пути равна 6,10 метра (рис. 25). Верхнее строеніе можетъ перемѣщаться въ вертикальномъ направленіи, попеременно занимая два положенія. Ширина проѣзжей части на мосту равна 4,50 метр., ширина троттуаровъ—0,80 метра. Когда мостъ занимаетъ свое нижнее положеніе, свободная высота надъ уровнемъ воды равна 2,40 метра, причемъ движеніе экипажей и пѣшиходовъ совершается свободно. При подъемѣ моста на 1,30 метра свободная высота надъ горизонтомъ воды возрастаетъ до 3,70 метр., что даетъ возможность проходить подъ нимъ безпрепятственно судамъ; движеніе экипажей на это время, конечно, прерывается, что же касается пѣшиходовъ, то послѣдніе имѣютъ возможность переходить черезъ мостъ, пользуясь лѣстницей, ведущей къ троттуару.

Передвиженія моста производятся помощью гидравлическаго пресса, который заставляетъ то подниматься, то опускаться четыре поршня, поддерживающіе верхнее строеніе моста. Подъемъ достигается посредствомъ нагрузки пресса до

<sup>1)</sup> Интересующихся этой системой болѣе детально отсылаемъ къ статьѣ, напечатанной въ Annales de ponts et chaussées. 1886 г. 1-ier semestre.



бавочнымъ грузомъ воды. Маневрирование съ мостомъ производится очень быстро: время подъема или спуска не превосходитъ 20 секундъ.

Существуетъ много другихъ системъ подвижныхъ мостовъ, но онѣ соотвѣтствуютъ скорѣ частнымъ случаямъ, чѣмъ общему рѣшенію задачи о подвиж-

Продольный фасадъ.

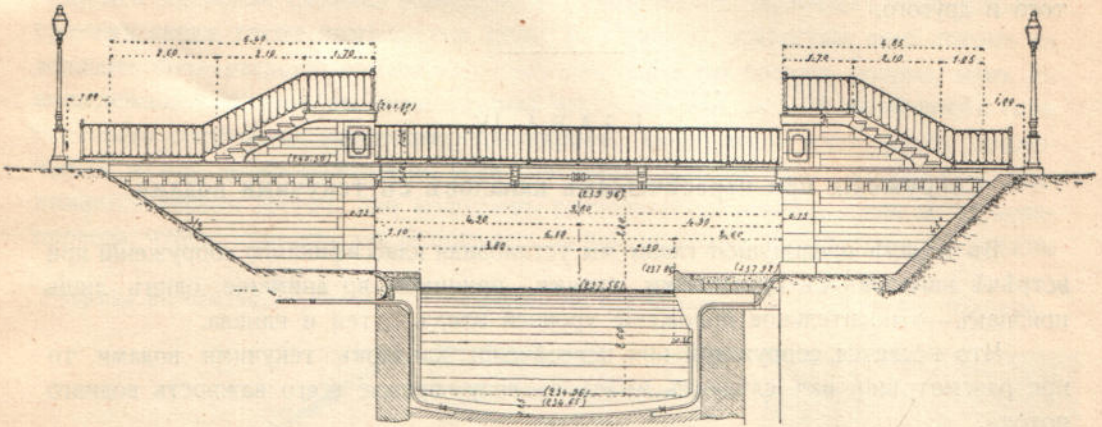


Рис. 25. Подъемный мостъ du Larrey въ Dijon'ѣ.

ныхъ мостахъ на каналахъ, а потому мы не будемъ и разматривать ихъ, считая, что приведенные нами два типа даютъ достаточное знакомство съ сооружениями подобного рода.

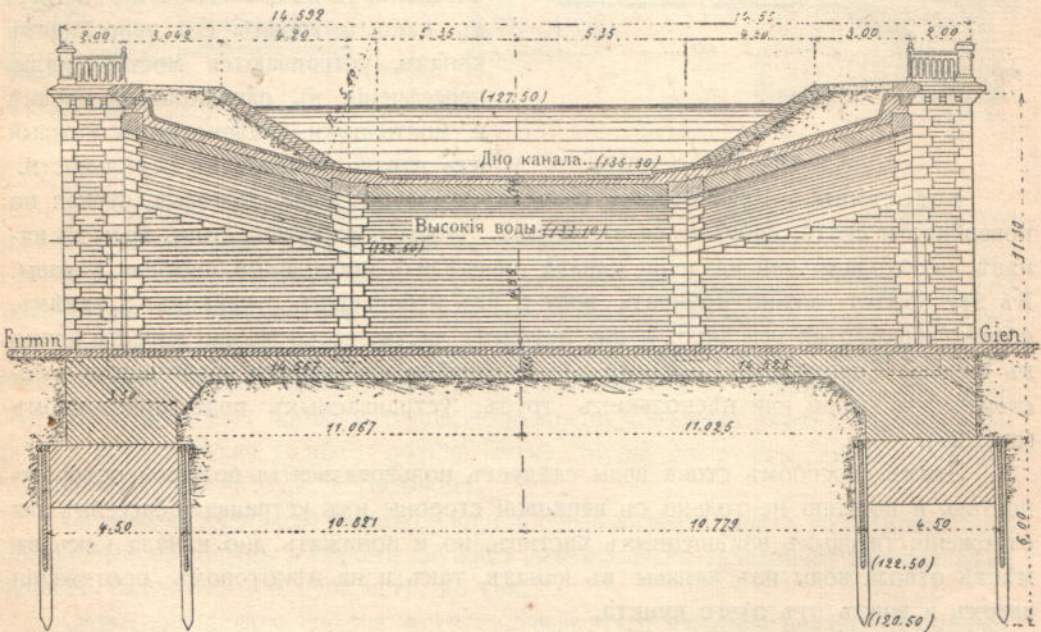


Рис. 26. Мостъ подъ каналомъ вдоль р. Луары.

Мосты подъ каналами.—Работы по устройству подобныхъ мостовъ, встрѣчающихся весьма рѣдко, мало чѣмъ отличаются отъ устройства водопроводовъ подъ каналами и мостовъ-каналовъ. Примѣръ подобного сооружения—



мость подъ боковымъ каналомъ вдоль р. Луары — показанъ на рис. 26. Отличительной особенностью подобныхъ сооружений является увеличение отверстія моста въ головахъ, что даетъ болѣе свободный доступъ воздуху и свѣту внутрь проходовъ, которые, будучи очень длинными (по меньшей мѣрѣ 25 метр.) и темными, а подъ влияніемъ фильтраціи и сырими, требуютъ какъ можно болѣе и того и другого.

## ГЛАВА IV.

### Сооруженія при пересѣченіяхъ каналовъ съ текучими водами.

Въ началѣ предыдущей главы мы установили классификацію сооружений при встрѣчѣ каналовъ съ грунтовыми путями, принимая во вниманіе одинъ лишь признакъ—относительное положеніе уровней этихъ путей и канала.

Что касается сооружений при пересѣченіи каналовъ текучими водами, то при разсмотрѣніи ихъ слѣдуетъ имѣть въ виду прежде всего важность воднаго потока.

Когда этотъ потокъ незначителенъ, то рассматриваемое сооруженіе, не смотря на всѣ различія его расположенія, всегда можетъ быть отнесено къ типу,

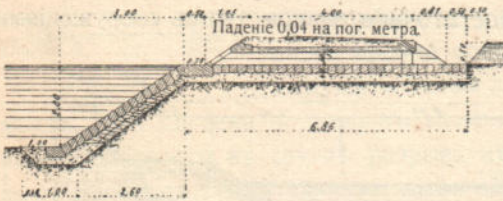


Рис. 27.

такъ называемыхъ, водопроводовъ. Если, напротивъ, водный потокъ значителенъ, то въ зависимости отъ того, въ какомъ уровнѣ его пересѣкаетъ каналъ, устраиваются мосты-каналы, пересѣченія въ одинаковомъ уровнѣ и мосты-рѣки. Разсмотримъ каждый изъ этихъ случаевъ въ отдѣльности.

Водосливы.—Разсмотримъ сначала дождевыя воды, которыя, стекая по поверхности ската, собираются въ канавѣ. Чтобы обезпечить стокъ воды въ канавѣ, необходимо при изученіи канала опредѣлить продольный профиль канавы. Въ эту канаву можно собирать воду и изъ небольшихъ ручейковъ, а затѣмъ, если количество ея невелико, и она довольно чиста, то ее можно вывести прямо въ каналъ. Сооруженіе, служащее для этой цѣли, называется водосливомъ и состоитъ изъ одной или нѣсколькихъ трубъ, устраиваемыхъ подъ бичевникомъ (рис. 27).

Этимъ способомъ стока воды слѣдуетъ пользоваться съ большою осторожностью, и полезно не только съ верхней стороны ихъ устраивать бассейнъ для отложенія твердыхъ взвѣшенныхъ частицъ, но и понижать дно канала какъ въ мѣстѣ отвода воды изъ канавы въ каналъ, такъ и на нѣкоторомъ протяженіи вверхъ и внизъ отъ этого пункта.

Водопроводы.—Въ тѣхъ случаяхъ, когда количество дождевыхъ водъ значительно, и пересѣкаемые водные потоки значительны, необходимо отвести воду при помощи водопровода подъ дномъ канала; при этомъ не слѣдуетъ упускать изъ виду, что даже очень небольшія сооруженія подобнаго рода имѣютъ значительную длину и должны быть заложены на довольно низкомъ уровнѣ,



вслѣдствіе чего стоимость ихъ значительна, и потому число ихъ слѣдуетъ доводить до minimum'a. Эти водопроводы представляютъ собой обыкновенныя трубы, и конструкція ихъ очень проста, если уровень дна канала находится на достаточной высотѣ надъ дномъ потока. Если же, напротивъ, дно канала располагается очень близко къ дну потока, или даже ниже его, то въ этихъ случаяхъ примѣняется болѣе сложная конструкція: водопроводъ получаетъ видъ сифона, причемъ сводъ трубы помѣщается ниже дна канала, вслѣдствіе чего лотокъ ея долженъ быть расположенъ ниже русла естественнаго воднаго потока, какъ въ вышележащей, такъ и въ нижележащей части его. На рис. 28 изображенъ типъ подобнаго сооруженія небольшихъ размѣровъ. Собственно водопроводъ заключается между двумя колодцами; вода спускается черезъ одинъ колодецъ и поднимается черезъ другой. Дно колодцевъ располагается немного ниже лотка водопровода, чтобы камни не могли попадать во внутрь трубы. Размѣры трубы должны

Разрѣзъ по оси водопровода.

Разрѣзъ по оси канала.

Разрѣзъ колодца.

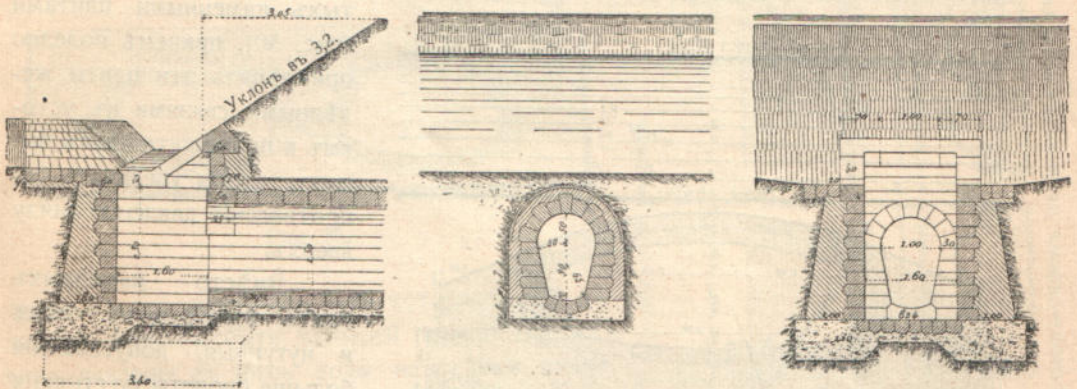


Рис. 28. Водопроводъ-сифонъ.

быть во всякомъ случаѣ таковы, чтобы внутри ея могъ двигаться человѣкъ, что значительно облегчаетъ содержаніе ея въ исправности.

Если мѣстныя условія позволяютъ замѣнить вертикальныя стѣнки колодца наклонными, то предпочтительнѣе примѣнять именно эту конструкцію, такъ какъ она значительно облегчаетъ извлеченіе наносовъ, приносимыхъ паводковыми водами, особенно послѣ ливней (рис. 29). Едва ли нужно прибавлять, что конструкція будетъ еще проще и лучше, если можно избѣжать вполнѣ подъема воды путемъ срѣзки русла воднаго потока ниже трубы; въ этомъ случаѣ, конечно, водопроводъ уже не будетъ сифономъ.

Сифоны-водопроводы бываютъ иногда очень значительныхъ размѣровъ, такъ показанный на чертежѣ сифонъ служить для пропуска меженнаго расхода рѣки Meuse'ы, равнаго 5 — 6 куб. метр. въ сек.

Сводъ водопровода-сифона можетъ подвергаться дѣйствію различныхъ усилій. Если каналъ полонъ, а пересѣкаемый имъ водный потокъ находится въ меженемъ состояніи, то сводъ тогда находится подъ вліяніемъ силъ, дѣйствующихъ сверху внизъ, т. е. въ обыкновенныхъ условіяхъ работы. Если же, напротивъ, каналъ пустъ, а водный потокъ въ состояніи разлива, то сводъ тогда подвер-



гается главнымъ образомъ давленію снизу вверхъ, а въ этомъ случаѣ необходимо, чтобы вѣсь свода вмѣстѣ съ вѣсомъ насыпи надъ нимъ уравновѣшивалъ это давленіе.

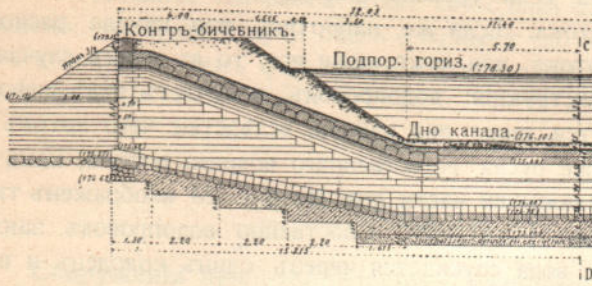


Рис. 29. Продольный разръзъ.

Разръзъ по CD.

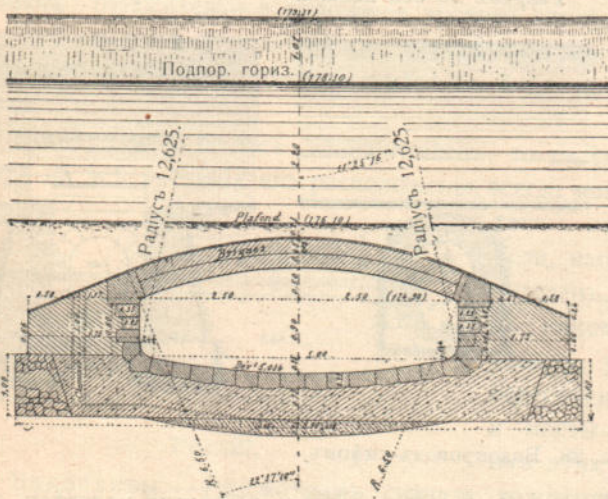


Рис. 29. Сифонъ de Vilosnes.

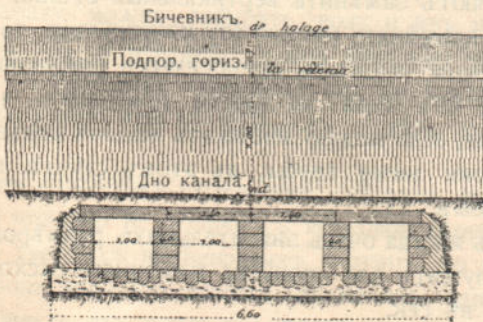


Рис. 30.

На силу сѣпленія раствора въ кладкѣ здѣсь разсчитывать не слѣдуетъ. Если водопроводъ сдѣланъ изъ бетона и представляетъ трубы изъ сплошного монолита, тогда можно принять во вниманіе и внутреннія силы сопротивленія.

Вмѣсто одной большой трубы иногда устраиваютъ нѣсколько трубъ небольшого отверстія, перекрытыхъ каменными плитами (рис. 30), причемъ полезно прикрѣпить эти плиты желѣзными связями къ устоямъ и промежуточнымъ быкамъ, чтобы увеличить сопротивленіе давленію снизу вверхъ.

Вмѣсто каменныхъ плитъ примѣняютъ также и чугунныя, допускающія большіе пролеты, но стоящія значительно дороже. Можно также устраивать очень пологія арки, какъ это видно на рис. 31.

При выборѣ той или другой формы сѣченія не слѣдуетъ упускать изъ вида двухъ необходимыхъ условий — удобства содержанія водопровода въ исправности и возможности увеличенія въ будущемъ глубины канала. Сложность устройства каменныхъ водопроводовъ заставляетъ часто отдавать предпочтеніе чугуннымъ, и

даже желѣзнымъ водопроводамъ. Эти послѣдніе прежде всего одинаково хорошо сопротивляются какъ усиліямъ, дѣйствующимъ снизу вверхъ, такъ и сверху внизъ; далѣе они допускаютъ большія скорости протеканія по нимъ воды. Наиболѣе



употребительны чугунныя трубы круглаго сѣченія съ діаметромъ обыкновенно не большимъ одного метра. При большомъ расходѣ воды предпочтительнѣе брать нѣсколько трубъ небольшого сѣченія. Концы трубъ выводятъ тогда въ одну общую галлерей, соединяющуюся съ колодцемъ. Благодаря такому устройству значительно облегчается доступъ внутрь водопровода, и длина суженной части доводится до minimum'a (см. черт. 32).

Трубы кладутся на бетонный фундаментъ и иногда даже обкладываются бетономъ или кладкою, если онѣ заложены неглубоко подъ дномъ канала и можно опасаться ударовъ въ нихъ багровъ при прохожденіи судна. Соединенія трубъ дѣлаются такъ же тщательно, какъ и вообще въ водопроводахъ, т. е. заливаются

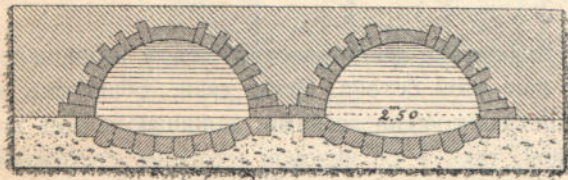


Рис. 31.

свинцомъ, но матеріалъ, изъ котораго онѣ дѣлаются можетъ быть меньшей прочности, такъ какъ давленія въ нихъ воды на стѣнки значительно меньше, чѣмъ въ обыкновенныхъ водопроводахъ. Для достиженія непроницаемости соединенія между металломъ и кладкой необходимы особыя мѣры предосторожности, о которыхъ мы скажемъ подробно, разсматривая вопросъ о мостахъ каналахъ, здѣсь же укажемъ только, что для водопроводовъ примѣненіе этихъ мѣръ легче, такъ какъ длина ихъ меньше мостовъ каналовъ и они подвергаются меньшимъ колебаніямъ температуры.

Когда діаметръ трубъ меньше одного метра, слѣдуетъ въ каждой трубѣ помѣщать цѣпь для того, чтобы послѣ ливней и паводковъ, пропуская по ней якорь, можно было убѣдиться, что проходъ не засоренъ. Не слѣдуетъ никогда упускать изъ вида эту маленькую подробность въ конструкціи, такъ какъ упущеніе ея можетъ имѣть серьезныя послѣдствія для всего сооруженія.

Какъ примѣръ примѣненія сифона въ широкомъ масштабѣ укажемъ на

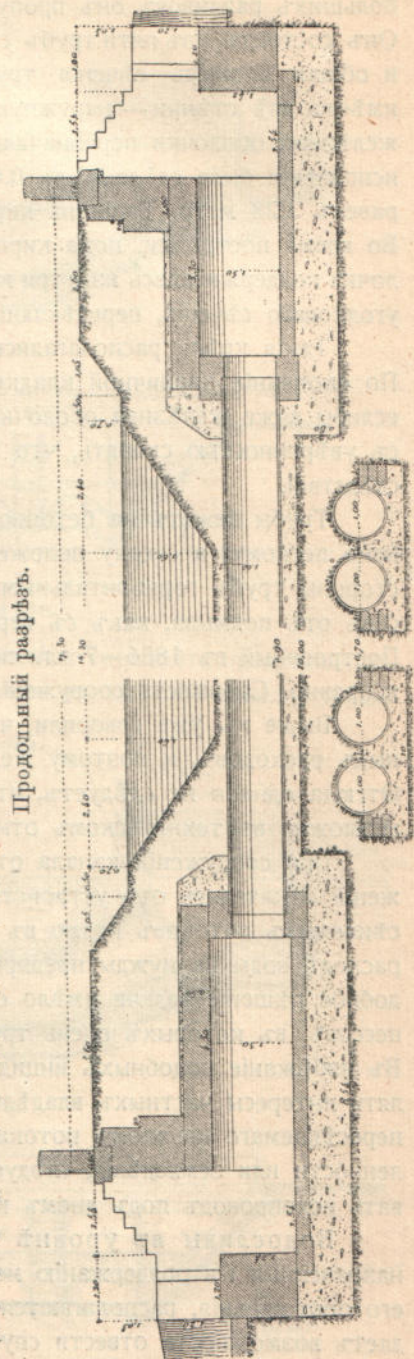


Рис. 32. Водопроводъ-сифонъ съ металлическими трубками.



сифонъ, посредствомъ котораго рѣка де Наупе проводится подъ канализованной частью рѣки l'Escaut. Размѣры этого сооруженія исключительно велики: во время большихъ разливовъ онъ пропускаетъ расходъ воды около 50 куб. метр. въ сек. Онъ состоитъ изъ пяти трубъ съ внутреннимъ діаметромъ въ 2,80 метра (рис. 33), и общая площадь сѣченія трубъ равна 30,80 квадр. метровъ. Каждая труба имѣетъ двѣ стѣнки — наружную желѣзную и внутреннюю кирпичную. Толщина желѣзной оболочки первоначально была спроектирована въ 0,005 метр., но при исполненіи была сдѣлана въ 0,007 метра; внутренній діаметръ этой оболочки равенъ 3,28 метр. Толщина кирпичной стѣнки принята въ 0,24 метр. (рис. 34). Во время постройки, пока кирпичная кладка не была закончена, желѣзная оболочка поддерживалась изнутри крѣпями, состоящими изъ двухъ желѣзныхъ балокъ уголкового сѣченія, пересѣкающихся подъ прямымъ угломъ.

Такія крѣпи располагались на разстояніи одного метра другъ отъ друга. По окончаніи кирпичной кладки эти крѣпи были сняты. При такой конструкціи, еслибы даже желѣзная оболочка была современемъ съѣдена ржавчиной, можно съ увѣренностью сказать, что это не будетъ имѣть никакихъ серьезныхъ послѣдствій.

Трубы лежатъ на бетонномъ основаніи; пространство между ними заполнено пескомъ, а сверху положенъ еще слой бетона. Ряды свай, обшитыхъ со стороны трубъ горизонтальными трехдюймовыми досками, защищаютъ весь массивъ отъ подмыва, какъ съ верховой, такъ и съ низовой стороны сооружения. Построенный въ 1886—7 г.г. сифонъ de la Naupе до сихъ поръ работаетъ вполне исправно. Стоимость сооруженія выразилась въ суммѣ 150.000 франковъ.

Выше мы уже говорили, что сооруженіе водопроводовъ требуетъ значительныхъ расходовъ, и поэтому желательно по возможности уменьшать ихъ число. Отсюда однако не слѣдуетъ, что нужно избѣгать ихъ устройства тамъ, гдѣ это возможно въ техническомъ отношеніи.

При сооруженіи канала отъ Roanne до Digoin изъ экономическихъ соображеній отказались отъ устройства нѣкоторыхъ водопроводовъ, впуская воды пересѣкаемыхъ потоковъ прямо въ каналъ и заимствуя изъ канала эквивалентный расходъ воды на нужды предпринимателей, эксплуатирующихъ эти потоки. Подобное рѣшеніе задачи имѣло однако послѣдствіемъ цѣлый рядъ судебныхъ процессовъ, въ которыхъ очень трудно было установить права тяжущихся сторонъ. Въ избѣжаніе подобныхъ инцидентовъ слѣдуетъ всегда вполне опредѣленно отдѣлять интересы частныхъ владѣльцевъ и государства. Поэтому всюду, гдѣ воды пересѣкаемаго каналомъ потока утилизируются въ цѣляхъ орошенія, промышленности или земледѣлія, слѣдуетъ, несмотря на большіе даже расходы, устраивать водопроводъ подъ дномъ канала.

Водосливы въ уровнѣ нормальнаго горизонта. — Сооруженія, предназначенныя къ поддержанію нормальнаго уровня въ каналѣ или служащія для его опорожненія, располагаются обыкновенно надъ водопроводами, такъ какъ это даетъ возможность отвести спускаемую воду въ пересѣкаемый водный потокъ.

Необходимость водосливовъ въ уровнѣ нормальнаго горизонта становится ясною, если принять во вниманіе всѣ тѣ неудобства, которыя создаются благодаря случайному значительному подъему воды въ каналѣ: вода переливается черезъ шлюзные ворота, что затрудняетъ маневрированье въ шлюзахъ; запруды







каналъ переливаются въ боковую канаву, которая направляетъ ихъ въ одинъ изъ пересекаемыхъ каналовъ потоковъ. Само собой разумѣется, что надъ водосливомъ устраивается каменный или деревянный мостикъ.

Однако только что описанные водосливы устраиваются довольно рѣдко, и

продольный разръзъ.

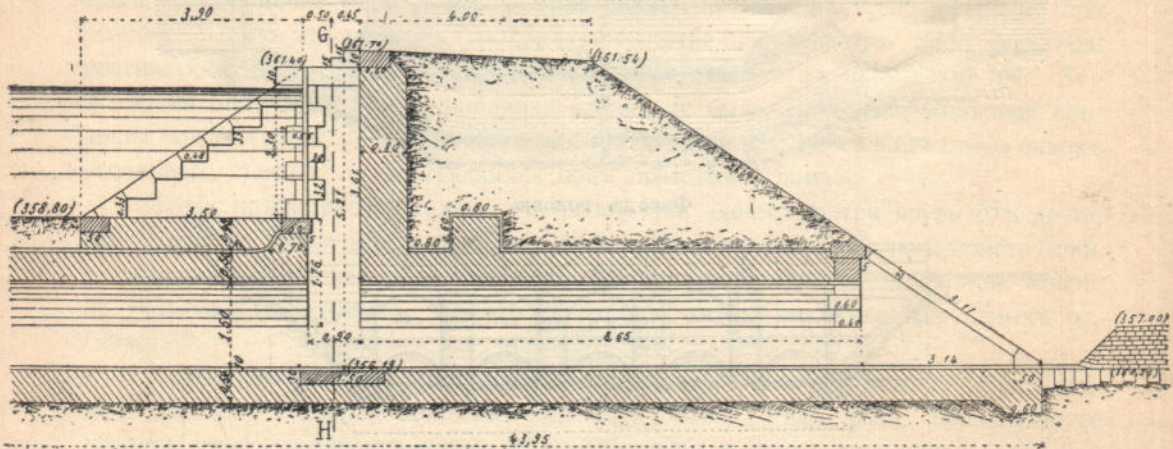


Рис. 35. Водопроводъ съ водоспускомъ и водоотливомъ.

обыкновенно примѣняются водоспуски, которые могутъ служить и водосливами въ уровнѣ нормальнаго горизонта. Эти сооруженія имѣютъ различную конструкцію и размѣры въ зависимости отъ мѣстныхъ условій и количества пропускаемой ими воды. Иногда водоспускъ состоитъ изъ одного отверстія, закрываемаго ши-

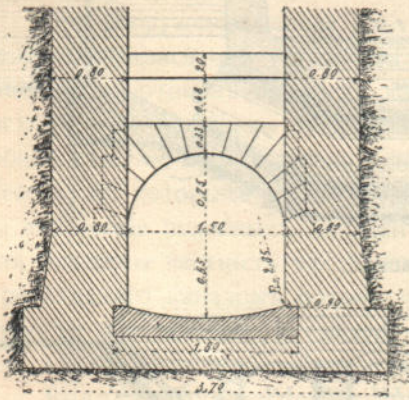


Рис. 36.

такая конструкция дает возможность проникнуть внутрь водопровода и таким образом облегчает его чистку. Это преимущество особенно ценно, когда приходится иметь дело с водопроводами сифонами, заложенными на большой глубине.

Что касается числа водоспусковъ, то относительно него трудно дать какія



нибудь точныя указанія. Очень короткій бьефъ, за которымъ слѣдуетъ значительное паденье, можетъ быть опорожненъ посредствомъ выпуска воды въ слѣдующій бьефъ безъ потери, т. е. выпуска ея на сторону; напротивъ, длинный бьефъ, напримѣръ длиною въ 10—12 километровъ, долженъ быть оборудованъ однимъ или нѣсколькими водоспусками и можетъ быть опорожненъ только по частямъ.

Для этой цѣли пользуются узкими частями канала и устраиваютъ въ нихъ ворота, или другія загражденія, позволяющія раздѣлить бьефъ на столько частей, сколько имѣется водоспусковъ.

Мосты-каналы.— Въ тѣхъ случаяхъ, когда пересѣкаемый каналомъ потокъ значителенъ, нельзя уже для пропуска водъ его подъ каналомъ пользоваться водопроводами. При такихъ условіяхъ приходится прибѣгнуть къ сооруженію

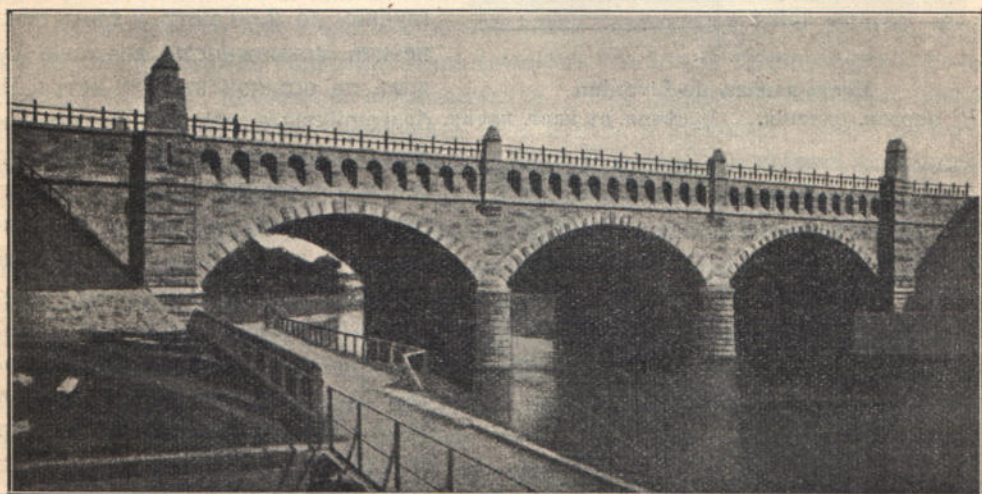


Рис. 37. Мостъ-каналъ de la Lippe на каналѣ Dortmund'a до Ems'a.

моста-канала, имѣющаго достаточное отверстіе и свободную высоту для пропуска максимальнаго расхода даннаго потока.

Стоимость подобныхъ сооружений весьма значительна, а потому слѣдуетъ принимать всѣ мѣры къ возможному сокращенію расходовъ.

Прежде всего слѣдуетъ для этого трапециoidalное сѣченіе, обыкновенно примѣняемое въ каналѣ, замѣнить въ мостахъ — каналахъ прямоугольнымъ или близкимъ къ послѣднему, что даетъ сокращеніе въ ширинѣ канала въ уровнѣ горизонта воды. Кромѣ того мосты-каналы дѣлаютъ почти всегда для одного судоходнаго пути, хотя это и влечетъ за собой стѣсненіе движенія судовъ.

Каменные мосты-каналы.— Во Франціи есть много сооружений такого типа, причемъ большинство изъ нихъ построены очень давно. Внѣшній видъ мостовъ-каналовъ изображенъ на рис. 37.

Русло и бичевникъ мостовъ-каналовъ.— Выше мы уже указывали, что для пониженія стоимости мостовъ-каналовъ ихъ дѣлаютъ возможно меньшей ширины, но нельзя не отмѣтить, что это вызываетъ крупныя неудобства для судоходства, такъ какъ сопротивленіе тягѣ судовъ при проходѣ этихъ соору-

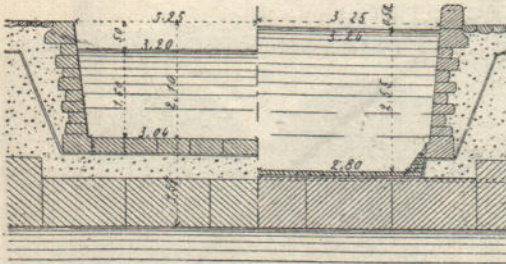


женій очень велико. На рис. 38 показаны поперечныя сѣченія трехъ большихъ мостовъ-каналовъ на каналъ отъ Марны къ Рейну. Площади этихъ сѣченій равны: для моста de Liverdun—9,984 квад. метр., для моста de St-Phlin—9,184 квад. метр. и для моста de Trouseey—9,008 квад. метровъ.

мостъ-каналъ de Trouseey.  
 $\frac{1}{2}$  первон. сѣченія.  $\frac{1}{2}$  сѣчен. въ наст. время.



Мостъ-каналъ de Liverdun  
 $\frac{1}{2}$  первон. сѣченія.  $\frac{1}{2}$  сѣчен. въ наст. время.



Мостъ-каналъ de St-Phlin  
 поперечн. сѣченіе.

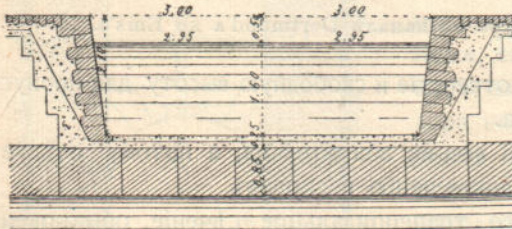


Рис. 38. Поперечныя сѣченія большихъ мостовъ-каналовъ на каналъ отъ Марны къ Рейну.

Для судовъ шириною въ 5 метровъ съ осадкою въ 1,40 метр. (такова была наибольшая осадка во время сооруженія канала) отношенія  $n$  были равны соответственно 1,426—1,312—1,287. Впослѣдствіи горизонтъ воды былъ поднятъ на 0,40 метр. для того, чтобы довести глубину до 2,00 метр. и тѣмъ обезпечить возможность движенія судовъ съ осадкой въ 1,80 метра. Но благоприятные результаты получились только въ мостѣ de Liverdun, гдѣ одновременно съ повышеніемъ горизонта было углублено и русло (глубина русла была доведена до 2,55 метра), благодаря чему получилась площадь сѣченія равная 15,772 кв. метр., и  $n$  возрасло до 1,752 вмѣсто прежней величины, равной 1,426. Что же касается до мостовъ de St-Phlin и de Trouseey, то въ нихъ величина  $n$  даже уменьшалась до 1,284 вмѣсто 1,312 и 1,263 вмѣсто 1,287. Благодаря такому значительному сопротивленію проходъ судовъ черезъ такіе мосты отнимаетъ очень много времени, напримѣръ, около часа, и они являются для судоходства болѣе стѣснительными, чѣмъ шлюзы.

Непроницаемость русла.—

Вопросъ о непроницаемости русла

каменныхъ мостовъ каналовъ заслуживаетъ большого вниманія.

Вслѣдствіе измѣненій температуры каменная кладка то расширяется, то сжимается. Если наблюдать это явленіе надъ поверхностью свода (внутренняго или наружнаго), то окажется, что замокъ свода то поднимается, то опускается. Чтобы слѣдовать за этими движеніями фронтонъ долженъ въ неподвижныхъ точкахъ дать вертикальныя трещины, и дѣйствительно въ быкахъ можно наблюдать почти всегда вертикальныя щели. Что касается течи, происходящей черезъ эти щели, то она съ особенной силой проявляется зимой, когда замокъ свода достигаетъ



наибольшого пониженія. Такое вліяніе температуры было съ несомнѣнностью установлено наблюденіями надъ большими мостами-каналами канала отъ Марны къ Рейну. Въ ясные апрѣльскіе и майскіе дни, когда по утрамъ наблюдались легкіе морозы, а въ полдень температура поднималась высоко, было установлено, что щели давали замѣтную фильтрацію по утрамъ, а въ полдень благодаря нагрѣванію и расширенію кладки течь совершенно исчезала. Легко понять, какъ трудно устранить вліяніе температурныхъ измѣненій, имѣя дѣло съ такимъ малоупругимъ матеріаломъ какъ камень, если даже послѣдній и самого лучшаго качества, а самая кладка выведена самымъ добросовѣстнымъ образомъ.

Для устранения указанной выше фильтраціи примѣнялись различныя средства, къ описанію которыхъ мы и перейдемъ. На мостѣ-каналѣ de Guetin M. Julien выстлалъ русло моста-канала на всемъ его протяженіи плитами изъ вулканическаго шлака; сверху эти плиты были покрыты двойнымъ слоемъ асфальта.

Были приняты всѣ мѣры для тщательнаго выполненія этой работы, но результаты не оправдали ожиданій. Подъ вліяніемъ измѣненій температуры асфальтъ гораздо сильнѣе сжимается и расширяется, чѣмъ шлакъ и каменная кладка; вслѣдствіе этого асфальтъ отдѣлился отъ плитъ, и появилась течь. Слѣдуетъ также имѣть въ виду, что слой асфальта, находясь снаружи, можетъ подвергаться разрушительному дѣйствію какъ отъ воды, такъ и отъ судовъ.

На мостѣ-каналѣ de St-Phlin были достигнуты лучшіе результаты благодаря тому, что асфальтовый слой былъ помѣщенъ внутри кладки подъ слоемъ бетона толщиной въ 0,10 метра. Асфальтовый слой состоялъ изъ минеральной мастики, содержащей 12 вѣсовыхъ частей горнаго масла и 88 частей естественнаго асфальта, и былъ положенъ сначала толщиной въ 10 миллим., а затѣмъ еще въ 5 миллим. Боковыя стѣнки были также покрыты минеральной мастикой въ видѣ плитъ, швы между которыми были заполнены тоже мастикой и перекрыты полосками изъ той же мастики, положенными въ нагрѣтомъ состояніи.

Само собой разумѣется, что этотъ асфальтовый слой былъ тоже положенъ подъ слоемъ бетона. Эта конструкція дала очень хорошіе результаты, что можно видѣть изъ того, что несмотря на суровые холода, доходившіе до  $-20^{\circ}$ , этотъ мостъ остался непроницаемъ.

Въ качествѣ мѣры противъ фильтраціи можно также рекомендовать примѣненіе гудрона (горнаго масла) для частой смазки русла. Гудронъ, будучи нагрѣтъ, заполняетъ капиллярныя трещины, образующіяся въ кладкѣ подъ вліяніемъ измѣненій температуры, и вмѣстѣ съ тѣмъ противодѣйствуетъ нѣкоторой пористости, почти всегда существующей въ камнѣ. Повторяя смазыванье каждый годъ, или по крайней мѣрѣ черезъ каждые два года, можно значительно уменьшить фильтрацію и даже предохранить мостъ отъ разрушенія. Мы обращаемъ вниманіе читателей на это средство особенно благодаря его дешевизнѣ.

Въ мостахъ-каналахъ канала отъ Dortmund'a до Ems'a для достиженія водонепроницаемости было примѣнено покрытие изъ листовъ свинца, толщиной въ 3 миллим., помѣщенное между двумя изолированными слоями, состоящими изъ асфальтированнаго картона и слоя асфальта и каменноугольнаго дегтя. Результаты получились вполне удовлетворительные.

Только что изложенныя мѣры предосторожности съ перваго взгляда могутъ показаться чрезмѣрными, или даже излишними, такъ какъ потери воды черезъ



щели въ кладкѣ не могутъ отозваться сколько нибудь замѣтно на питаніи канала; но надо не забывать, что приходится имѣть дѣло съ морозами, которые являются самымъ опаснымъ врагомъ каменной кладки мостовъ-каналовъ. Вредное вліяніе морозовъ можетъ проявиться въ двухъ видахъ. Разрушеніе можетъ идти медленнымъ путемъ: вслѣдствіе замерзанія воды въ щеляхъ каменной кладки онѣ расширяются, отчего сооруженіе мало по малу разрушается. Разрушеніе можетъ сразу выразиться въ рѣзкой формѣ: если воду оставить въ руслѣ во время сильныхъ холодовъ или не разбивать ледъ по мѣрѣ его образованія, то вслѣдствіе огромной силы расширенія замерзающей воды боковыя стѣнки моста могутъ быть раздвинуты, и сооруженіе можетъ подвергнуться сильному разрушенію. Такія именно явленія произошли съ мостомъ de Trousey въ теченіе суровой зимы 1870—71 г.г., когда Франція была занята нѣмцами, и вслѣдствіе этого прекра-

тилась всякая служебная дѣятельность. Повторялись они и во многихъ другихъ каменныхъ мостахъ каналахъ. Во всякомъ случаѣ для предупрежденія возможныхъ поврежденій отъ измѣненій температуры слѣдуетъ принять слѣдующія мѣры предосторожности:

1) Дѣлать небольшія отверстія сводовъ. 2) Выбирать такую форму свода, которая, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, менѣе всего способствуетъ перемѣщенію замка.

Что касается до ширины отверстія, то ее рѣдко дѣлаютъ болѣе 16 метровъ, но есть и исключенія, такъ мостъ-каналъ на каналѣ отъ Dortmund'a до Ems'a, изображенный на рис. 37, состоитъ изъ трехъ арокъ, пролетомъ въ 21 метръ.

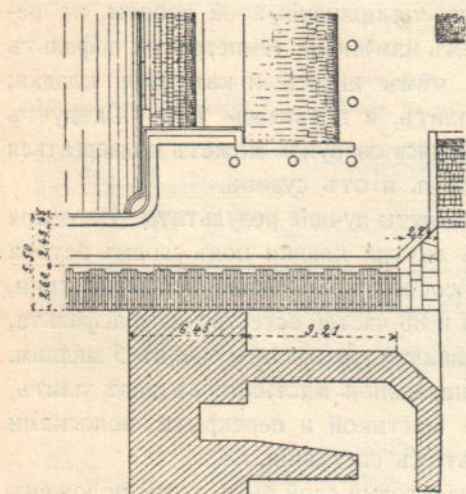


Рис. 39.

Относительно формы сводовъ слѣдуетъ замѣтить, что поставленное выше условіе 2-ое заставляетъ избѣгать дуги круга и отдавать предпочтеніе полуциркульной, эллиптической и коробовой формѣ.

Непроницаемость въ мѣстѣ соединенія каменной кладки съ насыпью. — Не только боковыя стѣнки русла и своды подвергаются разрушающему дѣйствію воды, но и устои съ ихъ обратными стѣнками не всегда свободны отъ этого явленія вслѣдствіе недостаточной непроницаемости въ мѣстѣ соединенія кладки съ насыпью. Вслѣдствіе размыва насыпи теченіемъ воды трещины, черезъ которыя происходитъ фильтрація, могутъ быстро расширяться, превращаясь въ громадныя промоины, черезъ которыя въ теченіи нѣсколькихъ часовъ можетъ выйти вода изъ цѣлаго бьефа. Насколько серьезны могутъ быть отъ этого послѣдствія, говорить, конечно, излишне.

Чтобы устранить возможность подобныхъ явленій, слѣдуетъ прежде всего для насыпей около устоевъ употреблять землю только очень хорошаго качества, примѣняя при производствѣ работъ особыя мѣры, о которыхъ мы будемъ говорить болѣе подробно при описаніи земляныхъ дамбъ для водохранилищъ.



Слѣдуетъ затѣмъ дѣлать устои значительно шире, чѣмъ этого требуетъ ширина моста, для того, чтобы въ промежуткѣ между боковой стѣнкой русла и обратной стѣнкой устоя можно было помѣстить большую массу земли. Очень рациональное устройство было примѣнено въ мостѣ-каналѣ St. Florentin на Бургундскомъ каналѣ (рис. 39). Здѣсь лицевая (со стороны канала) стѣнка моста продолжена внутрь земляной насыпи, такъ что между русломъ канала и обратной стѣнкой устоя образуется перегородка, которая дѣлаетъ путь для фильтрацій очень длиннымъ и извилистымъ и, препятствуя самому возникновенію этихъ фильтрацій, даетъ возможность во время предотвратитъ опасность сильнаго раз-

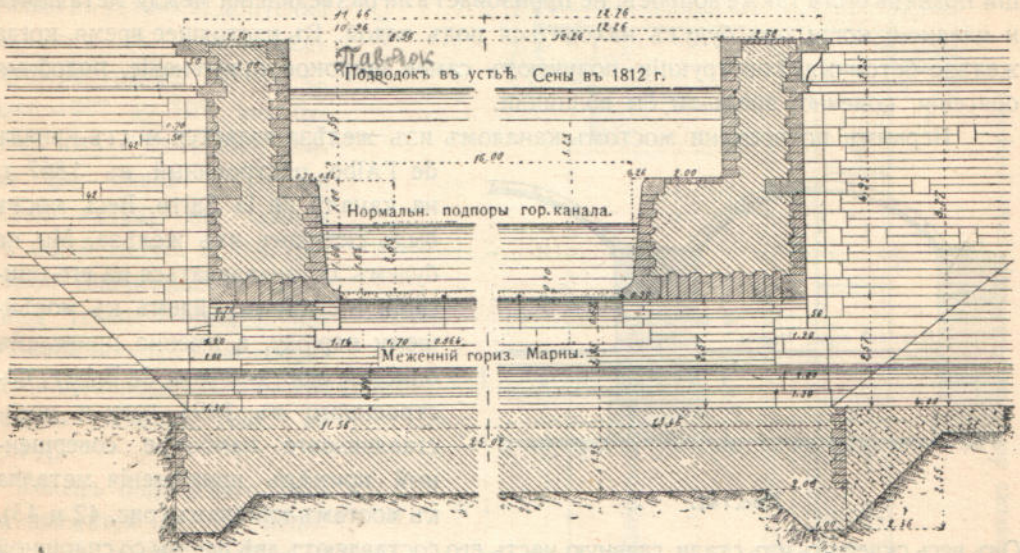


Рис. 40 Мостъ-каналъ de la Charité на каналѣ Saint-Mauriel.—Поперечный разрѣзъ.

мыва. Наконецъ полезно дно и откосы канала на нѣкоторомъ протяженіи отъ моста-канала покрывать слоемъ бетона. Вообще необходимо постоянное и весьма тщательное наблюденіе за мостами-каналами, чтобы всякое поврежденіе ихъ можно было исправить при самомъ началѣ, пока оно еще не приняло размѣровъ, опасныхъ для сооруженія.

Мосты-каналы изъ металла.—Какъ на первый примѣръ металлическихъ мостовъ-каналовъ можно указать на чугунный мостъ-каналъ, сооруженный въ 1845 г. на каналѣ отъ Верхней Сены до Barberey при пересѣченіи его съ Сеной. Конечно, онъ, несмотря на исправную до сихъ поръ свою службу, не можетъ служить образцомъ и представляетъ только историческій интересъ. Далѣе стали примѣнять типъ смѣшанный (изъ камня и металла). Таковъ мостъ-каналъ de la Charité на пересѣченіи каналомъ Saint-Maurielъ рукава Марны, изображенный на рис. 40 и 41. Онъ состоитъ изъ 4 арокъ отверстіемъ въ 2,50 метра. Подъ боковыми стѣнками русла канала каждое отверстіе перекрывается каменнымъ сводомъ, подъ дномъ же канала каменные своды замѣняются чугунными плитами, имѣющими форму свода, такого же вида, какъ и каменные. Эти плиты имѣютъ каждая по четыре реборды, причемъ двѣ крайнія позволяютъ соединить между







Конструкция соединенія металлическаго строенія съ каменной кладкой устоевъ заслуживаетъ здѣсь особаго вниманія. Металлическое русло длиною болѣе 600 метровъ укрѣплено неподвижно на быкъ № 8, такъ что оно какъ бы дѣлится на двѣ части, изъ которыхъ лѣвая длиною въ 8 пролетовъ и правая длиною въ 7 пролетовъ. Обѣ половины могутъ свободно расширяться, входя въ особыя камеры, устроенныя съ этой цѣлью въ устояхъ. Допуская разность въ колебаніяхъ температуры въ  $70^{\circ}$  по С. (отъ  $-20^{\circ}$  до  $50^{\circ}$ ), мы будемъ имѣть измѣненіе длины для лѣвой части въ 0,246 метра, для правой въ 0,216 метра. Вслѣдствіе такой значительной величины температурныхъ измѣненій конструкцию соединенія пришлось сдѣлать довольно сложной (рис. 44 и 45).

Конецъ подвижнаго русла движется внутри неподвижной части, имѣющей форму русла и задѣланной наглухо въ кладку соотвѣстнаго устоя; движеніе это подобно движенію поршня въ цилиндрѣ; промежутокъ между обѣими металлическими частями, подвижной и неподвижной, забивается пенькой, зажатой между двумя деревянными пробками. Далѣе, каучуковая полоса, изогнутая въ видѣ буквы *V*, соединяетъ съ внутренней стороны края неподвижной и подвижной части на протяженіи всего периметра поперечнаго сѣченія; оба края могутъ взаимно сближаться и удаляться, не вызывая при этомъ значительныхъ напряженій въ каучуковой полосѣ. Вода изъ русла можетъ проникнуть къ пеньковой забивкѣ не иначе, какъ пройдя сначала черезъ каучукъ, т. е. лишь въ случаѣ неисправности этого соединенія. Наконецъ края каучуковой полосы,

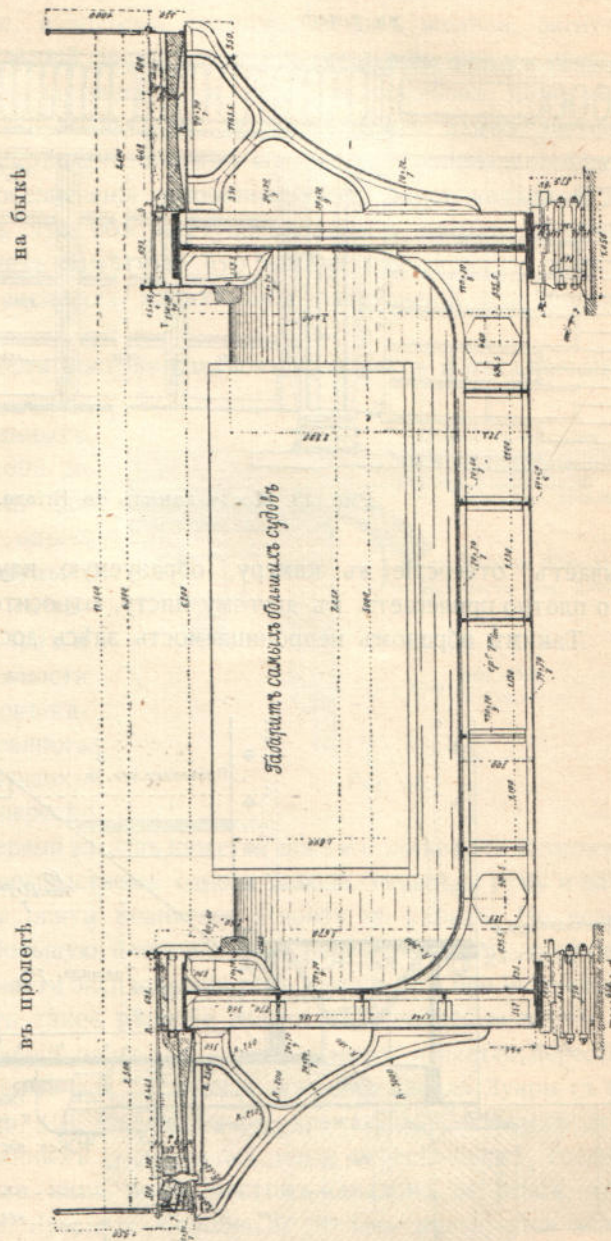


Рис. 42. Мостъ-каналъ de Briage. — Поперечные разрывы.



связывающей подвижную и неподвижную части русла, соединяются съ этими послѣдними посредствомъ желѣзныхъ листовъ, соединенныхъ болтами съ уголками. Листъ, скрѣпленный съ подвижной частью, настолько широкъ, что вполнѣ при-

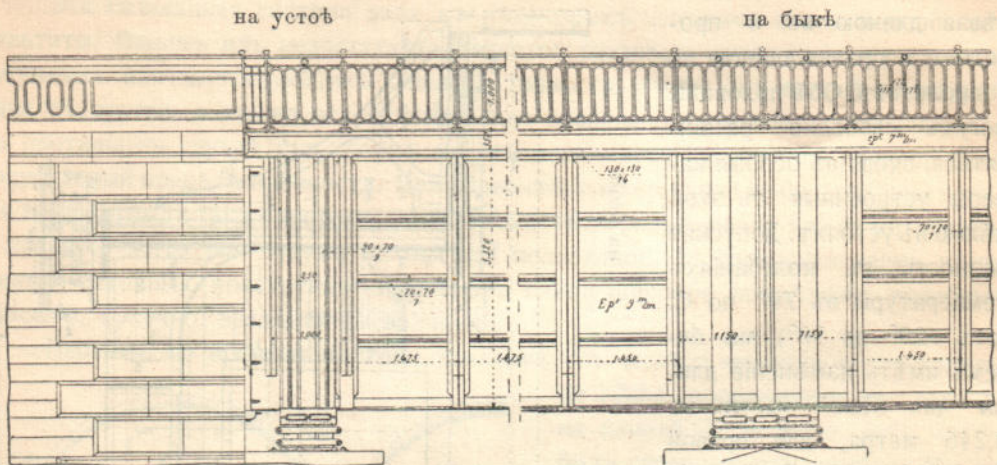


Рис. 43. Мостъ-каналъ de Briare.—Фасадъ.

крываетъ отверстіе въ камеру, образуемую каучуковой полосой, и кромѣ того плотно прилегаетъ къ другому листу, относительно котораго онъ движется.

Такимъ образомъ непроницаемость здѣсь достигается примѣненіемъ трехъ

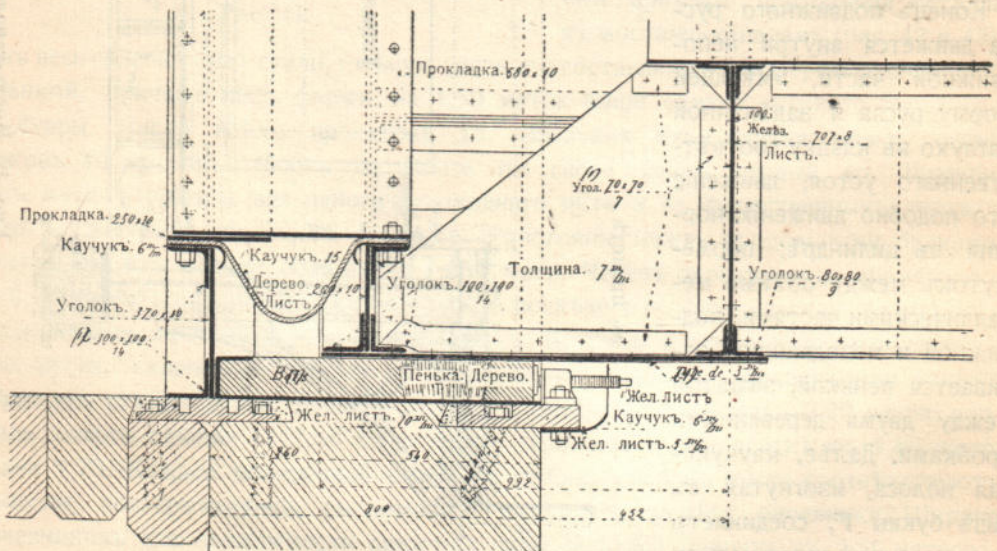


Рис. 44. Мостъ-каналъ de Briare.—Непроницаемое соединеніе.

видовъ соединеній: 1 — листовъ желѣза, плотно прилегающихъ другъ къ другу, 2—каучуковаго соединенія въ видѣ буквы V и 3—пеньковой забивки, зажатой между двумя деревянными пробками.



Для исправной службы непроницаемаго соединенія весьма важно, чтобы первыя два соединенія были выполнены съ особенной тщательностью. На рисункѣ 45-мъ показано въ крупномъ масштабѣ прикрѣпленіе каучуковой полосы къ неподвижной части русла. Этотъ край каучуковой полосы зажать между листомъ желѣза, о которомъ говорилось выше, и другимъ тонкимъ листомъ желѣза, загнутымъ въ видѣ завитка. Этотъ послѣдній листъ имѣетъ своимъ назначеніемъ предохранять каучуковую полосу отъ внезапныхъ и сильныхъ изгибовъ, которые при частомъ повтореніи могли бы вызвать ея разрывъ. Между этимъ листомъ и уголкомъ, къ которому прикрѣплена болтами вся система, помѣщается другая полоса каучука также для обезпеченія непроницаемости. Листъ желѣза не доходить до края уголка, такъ что обѣ каучуковыя полосы могутъ на концахъ взаимно прикасаться. Слѣдуетъ замѣтить, что замѣна каучуковыхъ полосъ въ видѣ буквы *U* новыми не вызывала какихъ-либо затрудненій или большихъ издержекъ.

Что касается до стоимости мостовъ-каналовъ каменныхъ и металлическихъ, то по даннымъ Guillemain'a стоимость погоннаго метра каменныхъ мостовъ колеблется отъ 3.000 до 10.000 франковъ, тогда какъ для желѣзныхъ она колеблется около 5.000 франковъ за погон. метръ.

Пересѣченіе рѣкъ каналами въ одномъ съ ними уровнѣ. — Вслѣдствіе сложности и большой стоимости мостовъ-каналовъ при пересѣченіи большихъ рѣкъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ предпочитаютъ устраивать пересѣченія въ одномъ уровнѣ. На первый взглядъ кажется даже выгоднѣе дать возможность спуститься судну къ рѣкѣ посредствомъ одного шлюза, пересѣчь рѣку и затѣмъ посредствомъ другого шлюза опять подняться и войти въ каналъ. Но если подобное устройство дастъ большую экономію при первоначальномъ сооруженіи, то съ другой стороны трудности эксплуатаціи такъ велики, что при интенсивномъ судоходствѣ нельзя признать такое рѣшеніе задачи цѣлесообразнымъ.

Среди такихъ пересѣченій наиболѣе поучительнымъ является пересѣченіе Луары съ каналомъ, служащимъ для соединенія бокового канала Луары съ боковымъ каналомъ Бріары (рис. 46). Въ настоящее время ввиду сильныхъ стѣсненій для судоходства, вызванныхъ указаннымъ выше пересѣченіемъ, соединеніе достигается описаннымъ уже нами выше мостомъ-каналомъ de Briare, что же касается до пересѣченія р. Луары у Chatillon'a, то имъ пользуются лишь въ крайнемъ случаѣ, когда мостъ-каналъ по какимъ-либо причинамъ не выполняетъ своего назначенія. Укажемъ теперь, въ чемъ заключаются недостатки пересѣченія каналомъ р. Луары у Chatillon'a. Шлюзы, соединяющіе каналъ съ Луарой, находятся на разстояніи около километра другъ отъ друга. Чтобы облегчить выходъ изъ шлюза со стороны Chatillon'a и въ то же время увеличить въ этомъ мѣстѣ глубину, здѣсь построили двѣ затопляемыхъ дамбы, изъ которыхъ одна

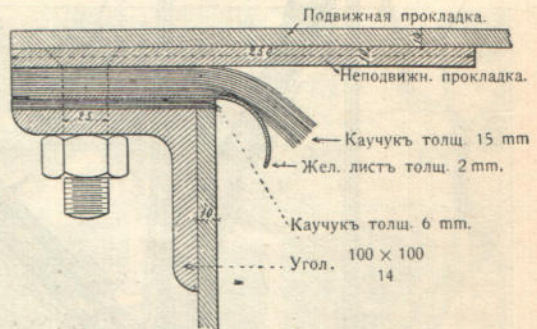


Рис. 45.



возвышается над меженным горизонтомъ на 0,50 метр. (со стороны d'Ousson'a), а другая—на 1,20 метра (со стороны Chatillon'a).

Благодаря устройству этихъ дамбъ ширина рѣки была сужена до 55 мет-

ровъ. Въ настоящее время хорошо извѣстно, что подобныя сооруженія далеко не всегда оправдываютъ возлагаемыя на нихъ надежды, а потому нѣтъ ничего удивительнаго, что здѣсь они не дали удовлетворительныхъ результатовъ. Въ меженье время этотъ участокъ рѣки сдѣлался очень мелководнымъ, причемъ мало помогало даже землечерпаніе, а при повышеніи горизонта на 1 метръ надъ меженью получалось такое быстрое течение, что приходилось обращаться къ помощи туэрной тяги. Все это вмѣстѣ повело къ тому, что въ настоящее время, какъ мы уже указывали выше, построенъ мостъ-каналъ de Briare.

Мы не будемъ приводить другихъ аналогичныхъ примѣровъ. Укажемъ только, что для ослабленія указанныхъ выше недостатковъ прибѣгали къ шлюзованію пересѣкаемаго каналомъ участка рѣки, что давало нѣсколько лучше результаты, но создавало нѣкоторое стѣсненіе для судоходства.

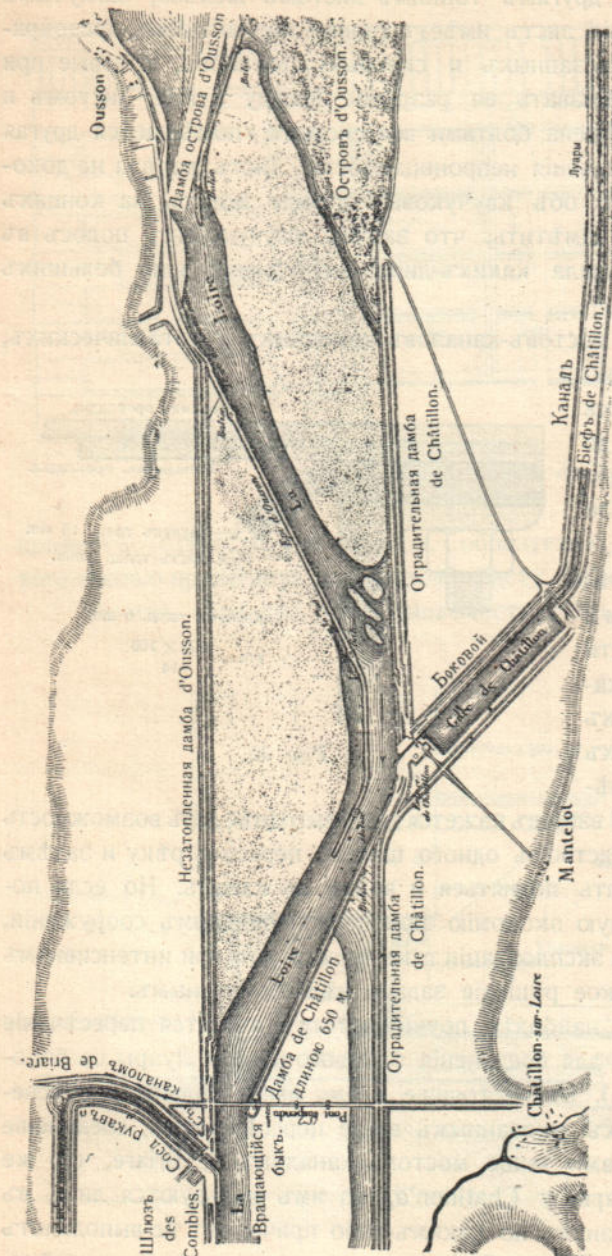


Рис. 46. Пересѣченіе Луары у Chatillon'a.

Мосты-рѣки. Пересѣченіе канала съ рѣкой, при которомъ рѣка проходитъ надъ каналомъ, допускается лишь въ исключительныхъ условіяхъ. Очевидно, что сооруженіе въ этомъ случаѣ отличается отъ моста-канала только



тѣмъ, что въ послѣднемъ размѣры русла должны удовлетворять требованіямъ свободного судоходства, тогда какъ въ мостъ-рѣкѣ эти размѣры должны быть

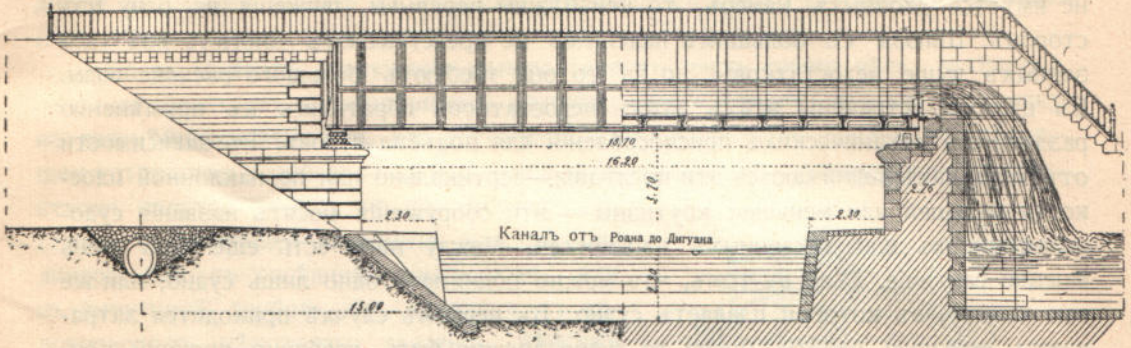


Рис. 47. Мостъ-рѣка на каналѣ отъ Роана до Дигуана.]

расчитаны на пропускъ наибольшаго расхода воды. На рис. 47 показанъ мостъ-

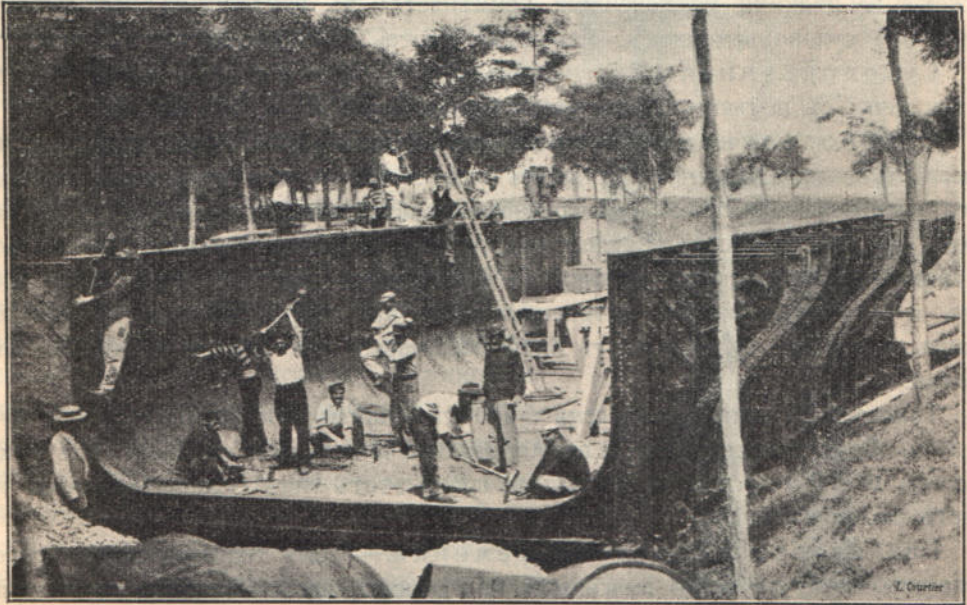


Рис. 48. Мостъ-рѣка d'Oudan во время постройки.

рѣка d'Oudan на каналѣ отъ Роана до Дигуана, вблизи Роана, а на рисункѣ 48 его постройка.

## ГЛАВА V.

### Судоподъемники и наклонныя плоскости.

Большія паденія на небольшихъ протяженіяхъ являются самыми серьезными затрудненіями при сооружеіи каналовъ. Если увеличивать число шлюзовъ, сохраняя умѣренное паденіе въ каждомъ изъ нихъ, то приходится считаться со



всѣми неудобствами короткихъ бьефовъ, не говоря уже о большой потерѣ времени, связанной съ прохожденіемъ большого числа шлюзовъ. Кромѣ того, если не имѣется двойныхъ камеръ, то неизбежны перерывы движенія въ одну изъ сторонъ. Шлюзы съ большимъ паденіемъ не представляютъ многихъ изъ указанныхъ выше недостатковъ, но за то они требуютъ большого расхода воды. Въ цѣляхъ устраненія всѣхъ этихъ недостатковъ обратились къ примѣненію различныхъ механическихъ приспособленій для подъема судовъ. Въ зависимости отъ того, какъ поднимаются эти послѣднія—вертикально или по наклонной плоскости большей или меньшей крутизны — эти сооруженія носятъ названія судоподъемниковъ или наклонныхъ плоскостей. Между ними есть еще одно очень важное различіе. Дѣло въ томъ, что можно поднимать одно лишь судно, или же всю камеру, въ которой плаваетъ судно. Въ первомъ случаѣ приходится затрачивать меньшую работу, но за то судно должно быть особенно прочной конструкции, чѣмъ, вообще говоря, не отличаются суда внутренняго плаванія; во второмъ случаѣ требуется бѣльшая движущая сила, но за то остаются неизмѣнными обычныя условія, въ которыхъ находятся плавающія суда. Первое передвиженіе за рѣдкими исключеніями примѣняется въ наклонныхъ плоскостяхъ, второе—въ судоподъемникахъ. Перейдемъ теперь къ описанію тѣхъ и другихъ.

**Судоподъемники.**—Судоподъемники по своей конструкции раздѣляются на три типа: съ подъемной машиной, гидравлическіе и на поплавкахъ.

**Судоподъемники съ подъемной машиной.**—Въ этой системѣ камера съ плавающимъ въ ней судномъ подвѣшивается на цѣпяхъ, перекинутыхъ черезъ направляющіе блоки; она уравнивается или другой подобной же камерой, или противовѣсомъ. Каждая камера должна послѣдовательно помѣщаться въ уровнѣ то верхняго, то нижняго бьефа, причемъ для сообщенія ея съ бьефомъ открываются ворота, устроенныя какъ въ камерѣ, такъ и въ каналѣ. Такимъ образомъ судно можетъ быть переведено изъ камеры въ бьефъ, или обратно.

Такова была конструкція семи судоподъемниковъ, построенныхъ въ 1834—36 гг. на Great western Canal'ѣ въ Англіи. Величина паденія въ одномъ изъ нихъ доходила до 14 метровъ. Въ настоящее время этотъ типъ судоподъемниковъ не имѣетъ распространенія.

**Гидравлическіе судоподъемники.**—Идея гидравлическихъ судоподъемниковъ лучше всего выясняется изъ общаго описанія перваго примѣненія такого типа, сдѣланнаго въ Anderton'ѣ въ 1875 году англійскимъ инженеромъ Эдвиномъ Кларкомъ для соединенія канала между рѣками Trent и Mersey съ рѣкой Weaver. Высота паденія была равна 15,35 метра. Судоподъемникъ имѣетъ двѣ камеры, которыя образуютъ, такъ сказать, платформу гидравлическихъ вѣсовъ и, будучи вполне одинаковы, уравниваются одна другой, когда глубина воды въ нихъ одинакова. Онѣ утверждаются на головахъ поршней гидравлическаго прессы, цилиндры котораго углублены въ дно русла рѣки. Оба цилиндра одинаковы и соединяются трубкой, такъ что объемъ воды между обоими поршнями остается неизмѣннымъ, и, когда одна камера опускается на нѣкоторую высоту, другая поднимается на такую же высоту. Чтобы привести поршни въ движеніе, достаточно впустить въ одну изъ камеръ нѣкоторое дополнительное количество воды для преодоленія силы тренія и инерціи. Достигнувъ



своего верхняго положенія, камера соединяется съ бьефомъ канала. Другая камера при этомъ погружается въ рѣку и, когда горизонтъ воды въ камерѣ окажется на одномъ уровнѣ съ горизонтомъ воды въ рѣкѣ, сообщается съ нею. (Рис. 49).

Но въ моментъ погруженія камера теряетъ часть своего вѣса, вслѣдствіе чего она перестаетъ уравнивать поднимающуюся камеру, вызывая остановку въ дальнѣйшемъ движеніи. Для устраненія этого препятствія придумано слѣдующее устройство. Сообщение между двумя цилиндрами устанавливается не посредствомъ простой трубки, но посредствомъ системы, позволяющей соединить каждый цилиндръ или съ сосѣднимъ цилиндромъ, или съ выпускной трубой, или, наконецъ, съ водопроводомъ нѣкотораго давленія. Дѣйствіе этой системы очень просто. Когда движеніе аппарата приостанавливается вслѣдствіе погруженія камеры въ воду, прерываютъ сообщеніе между двумя цилиндрами, затѣмъ цилиндръ опускающейся камеры соединяютъ съ выпускной трубой, благодаря чему эта камера опускается подъ вліяніемъ собственнаго вѣса до своего низшаго положенія; что же касается цилиндра поднимающейся камеры, то онъ соединяется съ водой, находящейся подъ давленіемъ, благодаря чему камера достигаетъ своего высшаго положенія. Вода, находящаяся подъ давленіемъ, соединяется съ нагнетательнымъ насосомъ, приводимымъ въ дѣйствіе паровой машиной. Описанный судоподъемникъ служитъ вполне исправно и въ настоящее время. Другой, еще болѣе интересный примѣръ, представляетъ гидравлическій судоподъемникъ у Fontinettes. Каналъ de Neuffossé, составляющій часть большой судоходной линіи отъ Парижа къ Сѣверному морю, является однимъ изъ наиболѣе важныхъ судоходныхъ путей сѣверной Франціи. Грузооборотъ, считая по всей линіи, доходилъ здѣсь въ 1901 году до 1.767.397 тоннъ. Въ этомъ каналѣ близъ Fontinettes находился пятикамерный шлюзъ съ паденіемъ въ 13,13 метра. Чтобы удовлетворить нужды такого интенсивнаго судоходства, необходимо было установить нѣкоторую правильность при прохожденіи шлюза des Fontinettes; по понедѣльникамъ, средамъ, пятницамъ и воскресеньямъ было установлено восходящее движеніе, а въ остальные дни недѣли — нисходящее. Это вызывало остановку судовъ на 24 и даже на 48 часовъ. Кромѣ того камеры шлюза имѣли полезныя длины отъ 34,80 до 35,10 метра и, слѣдовательно, не могли пропускать судовъ типа, установленнаго закономъ, т. е. длиною въ 38,50 метр. Съ цѣлью устранить это

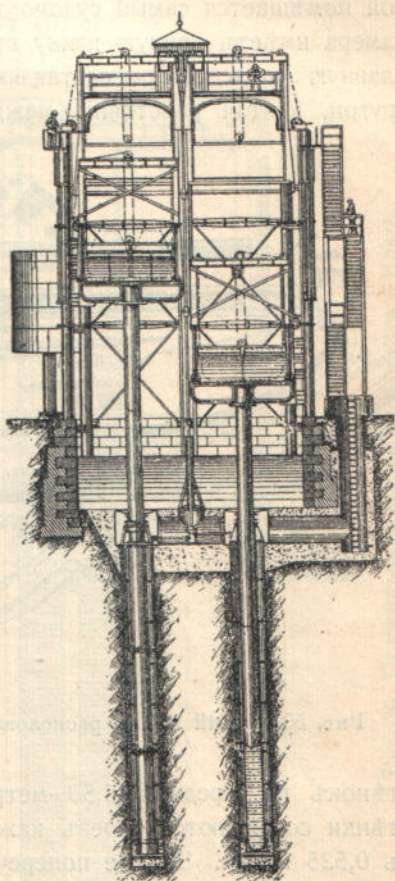


Рис. 49. Судоподъемникъ въ Ander-ton'ѣ.



неудобство и вмѣстѣ съ тѣмъ сдѣлать опытъ примѣненія судоподъемника типа d'Anterton къ судамъ вмѣстимостью въ 300 тоннъ французское правительство постановило устроить въ 1881 году у Fontinettes судоподъемникъ; для этого съ правой стороны канала de Neuffossé (рис. 50) параллельно шлюзу было сдѣлано отвѣтвление, пересекающее желѣзную дорогу отъ Boulogne къ Saint-Omer посредствомъ двухъ металлическихъ мостовъ-каналовъ, построенныхъ каждый для одного судоходнаго пути и имѣющихъ отверстія въ 20,80 метра. Устои съ выходной стороны мостовъ образуютъ стѣнку паденія, непосредственно за которой помѣщается самый судоподъемникъ (рис. 51, 52 и 53). Каждая подвижная камера имѣетъ полную длину въ 40,35 метра и полезную длину въ 39,50 метра. Главную часть камеры составляютъ двѣ продольныя стѣнки, отстоящія одна отъ другой, считая разстояніе между ихъ осями, на 5,60 метровъ. Высота этихъ

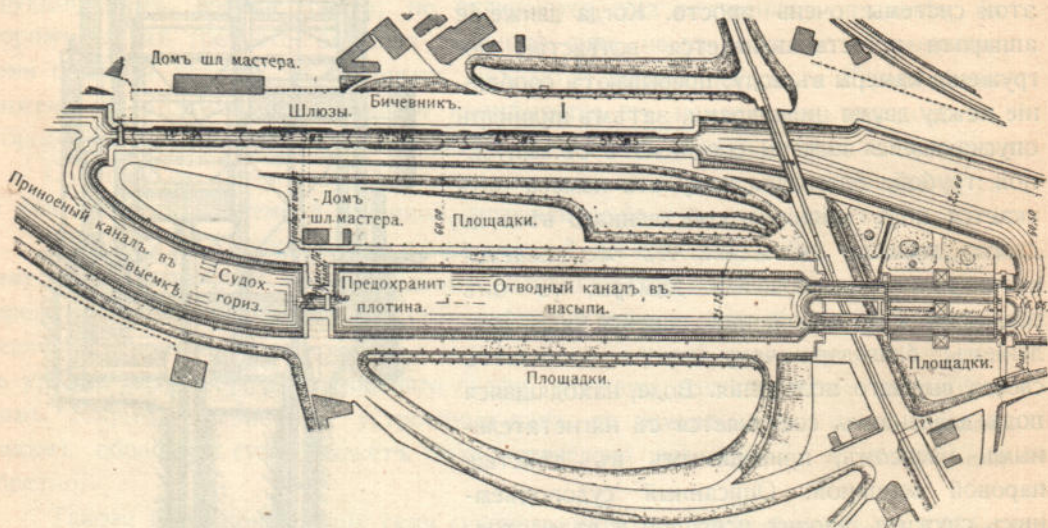


Рис. 50. Общій планъ расположенія шлюзовъ и судоподъемника des Fontinettes.

стѣнокъ по серединѣ 5,50 метра, а по концамъ 3,50 метра. Эти продольныя стѣнки соединяются черезъ каждыя 1,50 метра поперечными балками, высотой въ 0,525 метра. Четыре поперечныя балки въ средней части камеры имѣютъ высоту въ 1,50 метра и помѣщаются на разстояніи 1 метра одна отъ другой; онѣ прикрѣпляются болтами къ головѣ поршня.

Глубина воды въ камерѣ не менѣе 2,10 метра. Концы ея закрываются подъемными затворами. Находясь въ своемъ нижнемъ положеніи, эти камеры располагаются въ сухомъ докѣ изъ каменной кладки длиною въ 40,58 метра. Стѣнкою толщиною въ 5,20 метр. онъ дѣлится на двѣ части, шириною каждая въ 6,95 метра; съ низовой стороны онѣ закрываются подъемными щитовыми затворами.

Поршни, полые внутри, сдѣланы изъ чугуна и имѣютъ полную длину въ 17,16 метра, наружный діаметръ въ 2 метра и толщину стѣнки въ 0,07 метра. Они образованы изъ отрѣзковъ, высотой не болѣе 2,30 метра, имѣющихъ по концамъ съ внутренней стороны стѣнки флянцы, посредствомъ которыхъ они



скрѣпляются одинъ съ другимъ болтами. Мѣдная кольцеобразная пластинка, помѣщенная между двумя послѣдовательными отрѣзками, обезпечиваетъ непроницаемость соединенія (рис. 54). Цилиндры гидравлическаго пресса, имѣютъ высоту въ 15,682 метра и внутренній діаметръ въ 2,08 метр. Они установлены на массивахъ изъ бетона, налитого въ днѣ колодцевъ съ діаметромъ въ 4 метра. Пространства подъ обоими поршнями сообщаются между собой посредствомъ желѣзной трубы съ внутреннимъ діаметромъ въ 0,25 метра. Эта труба, поднимаясь вверхъ со дна каждого цилиндра, въ уровнѣ дна дока имѣетъ горизонтальную часть, посреди которой находится соединительный клапанъ. Кромѣ того эта часть соединяется трубами еще съ двумя распределителями, позволяющими выпустить воду изъ подъ каждого поршня, или, напротивъ, впустить воду подъ нѣкоторымъ давленіемъ.

Камеры направляются въ своемъ движеніи съ верховой стороны и въ средней части. Направляющія части съ верховой стороны прикрѣплены къ стѣнкѣ паденія, которой кончается вышележащій бьефъ, а направляющія части въ серединѣ прикрѣпляются къ боковымъ стѣнкамъ трехъ массивныхъ каменныхъ башенъ квадратнаго сѣченія. Направляющіе рельсы, прикрѣпленные къ боковымъ стѣнамъ башенъ, охватываются крѣпкими стальными рамами (рис. 55). Эти направляющія имѣютъ гораздо большее значеніе, чѣмъ съ верховой стороны, причемъ благодаря отсутствію вліянія температурныхъ расширеній въ средней части камеры, здѣсь можно оставить самый незначитель-

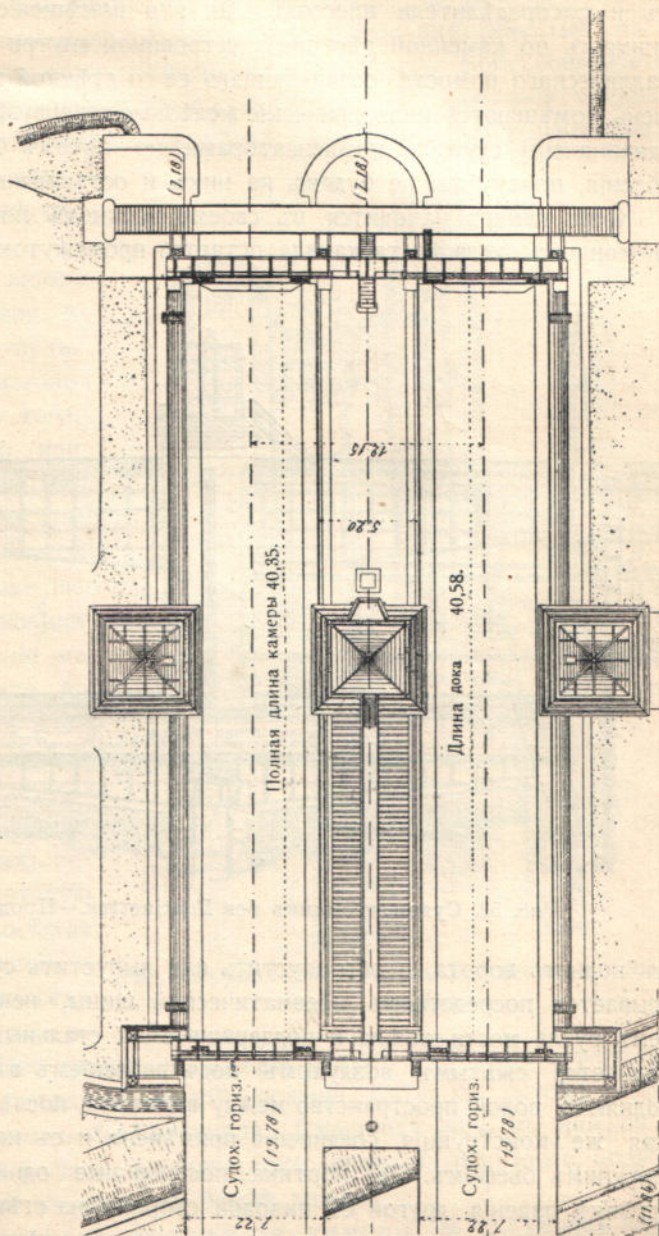


Рис. 51. Судоподъемникъ des Fontinettes. — Планъ.



ный зазоръ между скользящими частями. Съ низовой стороны совсѣмъ нѣтъ направляющихъ частей.

Въ верхней части средней башни устроено помѣщеніе для управляющаго движеніемъ всего аппарата: онъ открываетъ и закрываетъ соединительный клапанъ и распредѣлители прессовъ. Въ это помѣщеніе можно проникнуть, или поднимаясь по каменной лѣстницѣ, устроенной внутри башни, или посредствомъ металлическаго помоста, соединяющаго ее со стѣнкой паденія. Внутри боковыхъ башень помѣщаются цилиндрическіе желѣзные резервуары, которые были сначала предназначены служить компенсаторами, но потомъ были оставлены безъ употребленія, почему мы не будемъ на нихъ и останавливаться.

Когда камера находится въ своемъ верхнемъ положеніи, между концомъ ея и концомъ русла моста канала остается промежутокъ въ 0,045 метра. Прежде

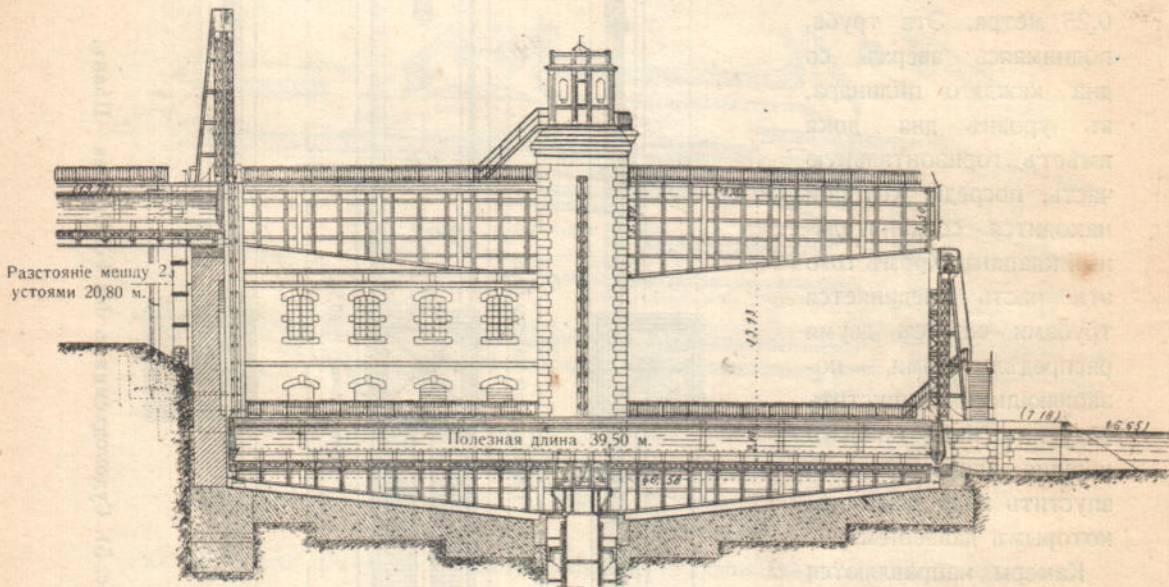


Рис. 52. Судоподъемникъ des Fontinettes. — Продольный разрѣзъ.

чѣмъ поднять ворота, чтобы впустить или выпустить судно, этотъ промежутокъ закрывается посредствомъ пневматической шины, неподвижно соединенной съ краемъ русла моста-канала и поддерживаемой стальными пружинами. Эта шина наполняется сжатымъ воздухомъ подъ давленіемъ въ  $1\frac{1}{2}$  атмосферы. Затѣмъ заполняютъ водой пространство между воротами, послѣ чего ихъ можно открыть. Такая же конструкція соединенія примѣнена и съ низовой стороны для связи съ нижнимъ бьефомъ. Два портика, построенные одинъ съ верховой стороны на стѣнкѣ паденія, другой съ низовой стороны на стѣнкахъ канала, снабжаются гидравлическими аппаратами для подъема воротъ, вѣсъ которыхъ въ значительной мѣрѣ уравнивается противовѣсами. При подъемѣ ихъ надъ горизонтомъ воды остается свободная высота въ 3,70 метра. Ворота канала и камеры, расположенныя непосредственно другъ противъ друга, могутъ быть соединены посредствомъ specialнаго механизма, благодаря которому они могутъ быть одновременно подняты или опущены.



Машинная часть, помещенная въ здании, расположенномъ между стѣнкой паденія и средней башней (рис. 52), состоитъ изъ двухъ турбинъ, приводимыхъ въ движеніе водой изъ верхняго бьефа, притекающей изъ особаго резервуара, соединяющаго камеры мостовъ-каналовъ. Одна изъ этихъ турбинъ мощностью въ 50 лошадиныхъ силъ приводитъ въ дѣйствіе четыре нагнетательныхъ насоса двойного дѣйствія, соединенныхъ съ аккумуляторомъ вмѣстимостью въ 1.200 литровъ. Другая турбина мощностью въ 15 лошадиныхъ силъ соединяется съ нагнетательнымъ насосомъ для воздуха, служащимъ для надуванія пневматическихъ шинъ, и съ центробѣжнымъ насосомъ, служащимъ для выкачиванія воды попадающей въ сухой докъ по тѣмъ или другимъ причинамъ.

Поднимаемый грузъ, включая сюда поршень, камеру и налитую въ нее воду, грузъ, который остается неизмѣннымъ независимо отъ того, есть въ камерѣ судно или нѣтъ, доходитъ почти до 800 тоннъ. Соотвѣтствующее давленіе въ прессахъ составляетъ около 25 атмосферъ, но для болѣе исправнаго дѣйствія при всѣхъ случаяхъ давленіе въ аккумуляторахъ доводятъ до 30 атмосферъ.

Маневрированія обыкновенно производятся въ слѣдующемъ порядкѣ. Пусть камеры достигли своихъ крайнихъ положеній, т. е. одна, которую мы назовемъ № 1, достигла своего верхняго положенія, а другая, которую мы назовемъ № 2, находится въ своемъ нижнемъ положеніи. При такомъ положеніи камеръ сообщеніе между прессами прерывается. Вода въ верхней камерѣ должна быть на одномъ и томъ же уровнѣ, что и въ верхнемъ бьефѣ канала. Горизонтъ воды въ нижней камерѣ на 0,30 метра и даже больше по причинамъ, приводимымъ ниже, возвышается надъ горизонтомъ воды въ нижнемъ бьефѣ канала.

Маневры въ верхнемъ положеніи камеры № 1. Сначала надуваютъ пневматическія шины; наполняютъ водой пространство между воротами камеры и канала; соединяютъ эти ворота и поднимаютъ ихъ; поднимающееся судно выходитъ изъ камеры; продолжительность маневра около 6 минутъ. Спускающееся судно приближается, чтобы замѣнить вышедшее; въ тотъ моментъ, когда судно начинаетъ входить въ камеру, регулируютъ распредѣлитель такъ, чтобы соеди-

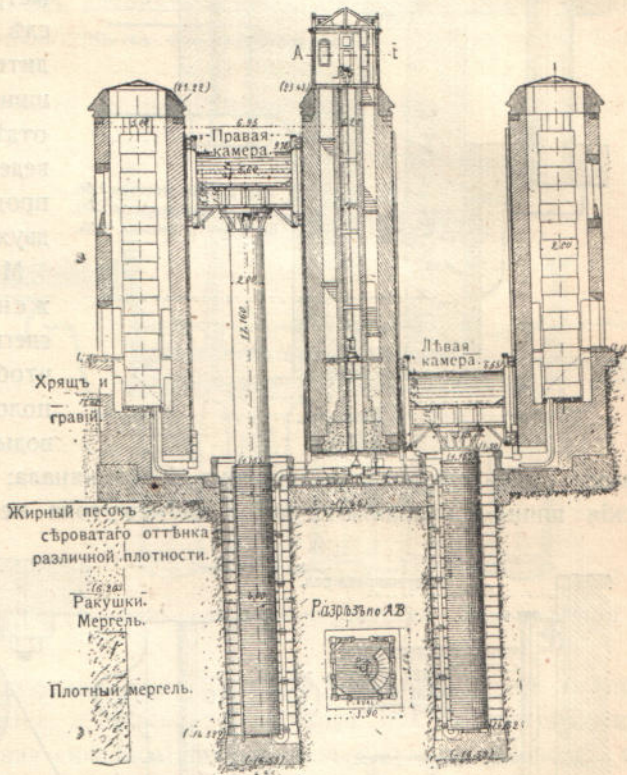


Рис. 53. Судоподъемникъ des Fontinettes. — Поперечный разрѣзъ.







Поднимающееся судно замѣняетъ вышедшее; оно входитъ въ камеру съ меньшей скоростью, чѣмъ спускающееся судно входитъ въ камеру № 1 вслѣдствіе возникающаго тамъ теченія, но за то при подходѣ къ камерѣ № 2 не теряется лишняго времени на прохожденіе моста-канала, а потому можно принять, что входъ въ камеру № 2 не больше входа въ камеру № 1. Затѣмъ закрываютъ ворота, разъединяютъ ихъ и выпускаютъ воздухъ изъ пневматическихъ шинъ; камера свободно и легко можетъ быть поднята; продолжительность маневра около пяти минутъ.

Начиная съ того момента, какъ камера приведена въ свое нижнее положеніе, она поддерживается въ немъ автоматическимъ способомъ, такъ что не можетъ замѣтно опуститься, несмотря на всѣ утечки, которыя могли-бы произойти въ прессахъ.

Когда желаютъ снова привести въ движеніе камеры, то сначала соединяютъ съ впускной трубой рас-

предѣлитель нижней камеры № 2; благодаря этому движеніе начинается болѣе плавно, чѣмъ если бы сразу соединить оба цилиндра. Въ самомъ дѣлѣ, цилиндръ камеры № 1 содержитъ въ первый моментъ на 41 тонну болѣе воды, чѣмъ цилиндръ камеры № 2. Эти 41 тонна вмѣстѣ съ 65 тоннами добавочной нагрузки камеры № 1 составляютъ

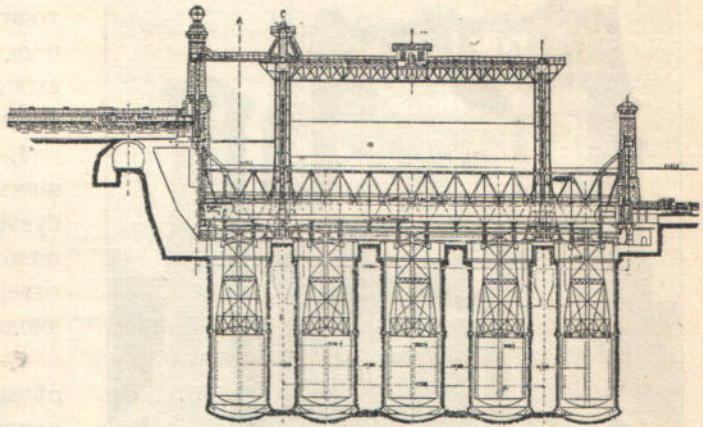


Рис. 56. Судоподъемникъ на поплавкахъ у Henrichsburg'a.

силу въ 106 тоннъ, вызывающую движеніе. По мѣрѣ того какъ одна камера поднимается, а другая опускается, и, слѣдовательно, вода изъ одного цилиндра переходитъ въ другой, движущая сила постепенно уменьшается и, наконецъ, въ крайнемъ положеніи камеръ доходить до  $65 - 41 = 24$  тоннъ. Итакъ, когда движеніе камеры № 2 уже началось, открываютъ сообщеніе между обоими прессами и закрываютъ распредѣлитель; движеніе совершается до тѣхъ поръ, пока камеры не займутъ тѣ же положенія, только въ обратномъ порядкѣ, которыя были нами выше приняты за исходный пунктъ; тогда сообщеніе между прессами прекращается.

Полная продолжительность различныхъ маневровъ доходитъ до 18 минутъ. Всѣ расходы по постройкѣ описаннаго выше судоподъемника выразились въ суммѣ 1.870.000 франковъ, но есть основаніе предполагать, что эта стоимость благодаря опыту можетъ быть понижена до 1.400.000 фран. Расходы по эксплуатаціи, включая сюда ремонтъ и личный составъ въ среднемъ около 14.400 франковъ. По типу судоподъемника у Fontinettes было построено много другихъ, весьма мало отличающихся по своей конструкціи, таковы судоподъемники на Центральномъ каналѣ въ Бельгіи, на каналѣ du Trent въ Канадѣ. Интересующихся де-



тальнымъ описаніемъ этихъ сооруженій мы отсылаемъ къ трудамъ IX-го и X-го международныхъ Конгрессовъ по судоходству.

Судоподъемникъ на поплавахъ.—Идея устройства судоподъемниковъ на поплавахъ зародилась еще въ концѣ восемнадцатаго столѣтія въ Англіи, но она долго не могла получить практическаго примѣненія вслѣдствіе крайней трудности удовлетворить всѣмъ тѣмъ условіямъ, которыя должны примѣняться къ сооруженіямъ подобнаго типа и могутъ быть сформулированы въ нижеслѣдующихъ четырехъ выраженіяхъ.

1.—Вся плавающая система при движеніи должна имѣть строго вертикальное направленіе безъ всякихъ уклоненій.

2.—Скорость движенія камеры должна быть строго регулируема и никогда не переходитъ предѣльной. Подходы и остановки камеры у отверстій канала должны быть возможно спокойнѣе.

3.—Въ конечныхъ положеніяхъ камеры отъ нея требуется строго неподвижное положеніе во время стоянки у отверстій канала и во время входа или выхода судовъ.

4.—Должны быть предусмотрены случаи возможной порчи поплавковъ и появленія вслѣдствіе этого слишкомъ большой скорости опусканія или подъема камеры.

Всѣмъ этимъ условіямъ въ большей или меньшей степени удовлетворяетъ судоподъемникъ у Henrichenburg'a (въ Германіи), построенный въ 1899-мъ году на каналѣ

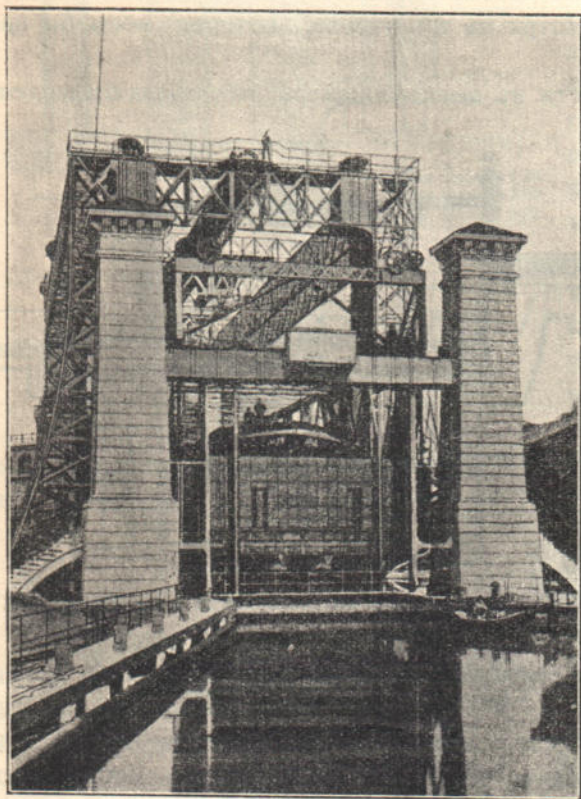


Рис. 57. Общій видъ судоподъемника у Henrichenburg'a.

отъ Dortund'a къ Ems'у. Обычная разность горизонтовъ верхняго и нижняго бьефовъ равна 14 метрамъ, но она можетъ достигать maximum'a въ 16 метровъ (рис. 56 и 57). Главную часть судоподъемника составляетъ желѣзная камера, поддерживаемая поплавками, могущими двигаться въ колодцахъ, наполненныхъ водой, благодаря чему она можетъ то подниматься до верхняго бьефа, то опускаться до нижняго. Для удобства и болѣе легкаго пониманія устройства всей системы на схематическомъ рисункѣ 58, отдѣльныя части сооруженія и нѣкоторыя данныя показаны подъ слѣдующими номерами:

- 1.—Горизонтъ воды въ камерѣ, когда она опускается до нижняго бьефа.
- 2.—Горизонтъ воды въ нижнемъ бьефѣ.



- 3.—Непроницаемый затворъ между камерой и нижнимъ бьефомъ.
- 4.—Конецъ камеры, поднятой до верхняго бьефа.
- 5.—Горизонтъ воды въ камерѣ, когда она поднята до верхняго бьефа.
- 6.—Горизонтъ воды въ верхнемъ бьефѣ.
- 7.—Непроницаемый затворъ между камерой и верхнимъ бьефомъ.
- 8.—Направляющія колонны для движенія камеры.
- 9.—Служебные мосты, соединяющіе четыре направляющія колонны и поддерживающіе аппаратъ, который служитъ для приведенія въ движеніе винтовыхъ штанги.
- 10.—Винтовая штанга.
- 11.—Верхнее основаніе винтовой штанги.

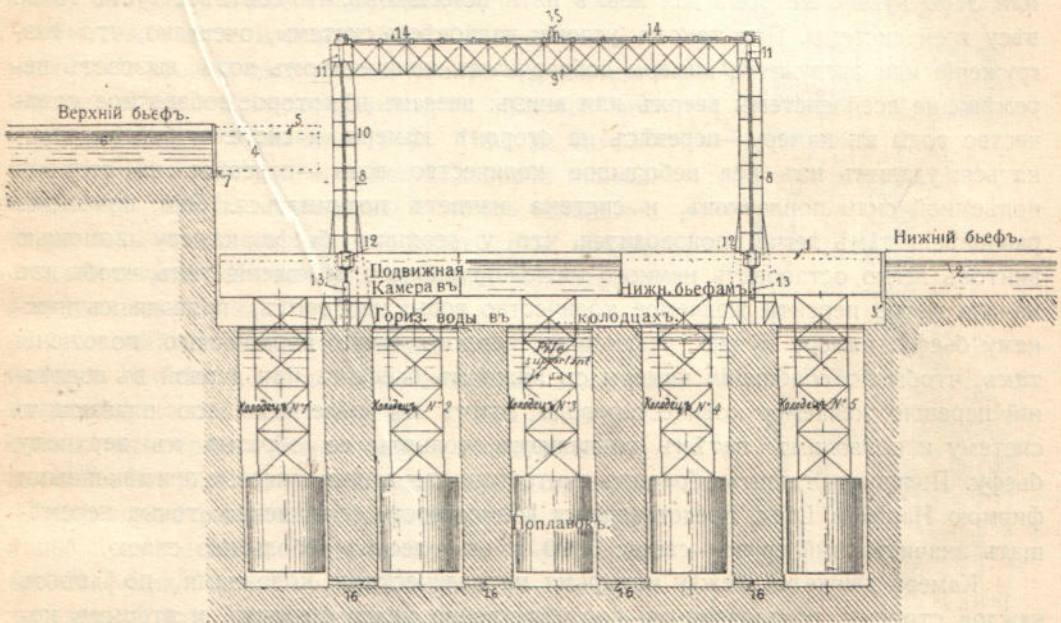


Рис. 58. Схематическій разрѣзъ судоподъемника у Henrichenburg'a.

- 12.—Гайки.
- 13.—Нижнее основаніе винтовой штанги.
- 14.—Горизонтальный стержень, передающій движеніе четыремъ винтовымъ штангамъ.

15.—Машина, управляющая движеніемъ винтовыхъ штангъ.

16.—Труба, устанавливающая сообщеніе между двумя колодцами.

Камера, вмѣщающая судно водоизмѣщеніемъ въ 600 тоннъ, имѣетъ полезную длину въ 68 метровъ и свободную ширину въ 8,60 метра. Нормальная глубина воды въ ней равна 2,50 метра. Этотъ резервуаръ укрѣпленъ надлежащимъ образомъ помощью поперечныхъ и продольныхъ балокъ и связей и соединенъ съ пятью металлическими-же рѣшетчатыми колоннами, установленными на такомъ-же числѣ металлическихъ цилиндровъ съ вертикальною осью, которые и являются поплавками. Эти поплавки имѣютъ наружный діаметръ въ 8,30 метра и полную высоту въ 13 метровъ. Колодцы, въ которыхъ они движутся, имѣютъ



внутренний диаметр въ 9,20 метра; разстояніе между осями колодцевъ равно 14,80 метра; дно колодцевъ располагается на 30 метровъ ниже дна камеры, когда она находится въ своемъ крайнемъ нижнемъ положеніи.

Каждый поплавокъ снабжается цилиндрической вертикальной трубой, верхняя часть которой поднимается надъ уровнемъ воды въ колодцѣ даже при самыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ: черезъ нее посредствомъ вертикальной лѣстницы можно проникать внутрь цилиндра. Полный вѣсъ движущейся системы доходитъ до 3100 тоннъ, изъ которыхъ 600 тоннъ приходится на поплавки, 900—на камеру, мостъ, поддерживающій ее, и всѣ второстепенныя части и 1600—на воду въ камерѣ.

Объемъ вытѣсняемой воды составляетъ 620 куб. метр. для каждого поплавка, или 3100 кубич. метровъ для всѣхъ пяти поплавковъ, что соотвѣтствуетъ точно вѣсу всей системы. При такомъ условіи равновѣсія системы, очевидно, что разгруженіе или загрузеніе камеры добавочнымъ количествомъ воды вызоветъ перемѣщеніе всей системы вверхъ или внизъ: введемъ нѣкоторое добавочное количество воды въ камеру—перевѣсъ на сторонѣ камеры, и система будетъ опускаться; удалимъ изъ нея небольшое количество воды,—перевѣсъ на сторонѣ подъемной силы поплавковъ, и система начнетъ подниматься. Это измѣненіе равновѣсія тѣмъ легче производится, что у верхняго бьефа камеру помощью винтовъ легко остановить немного ниже нормальнаго положенія такъ, чтобы изъ канала могло перейти желаемое количество воды; наоборотъ, подходя къ нижнему бьефу, камеру нужно установить немного выше нормальнаго положенія такъ, чтобы по сообщеніи камеры съ нижнимъ бьефомъ изъ первой въ послѣдній перешло желаемое количество воды; этимъ мы облегчимъ всю плавающую систему и позволимъ затѣмъ поплавкамъ поднять ее обратно къ верхнему бьефу. Пользуясь такимъ образомъ винтовыми стержнями, впервые примѣненными фирмою Haniel и Lueg, представляется возможность совершенно точно перемѣщать значительный грузъ—свыше 3000 тоннъ—весьма небольшою силою.

Камера движется между четырьмя металлическими колоннами, по двѣ съ каждой стороны, поставленными соотвѣтственно между первымъ и вторымъ колодцами и между четвертымъ и пятымъ. Эти колонны соединяются въ верхней части служебными металлическими мостиками. Онѣ поддерживаютъ также механизмъ, передающій движеніе камерѣ и обеспечивающій паралелизмъ ея послѣдовательныхъ положеній. Этотъ механизмъ состоитъ изъ четырехъ винтовыхъ штангъ, приводящихъ въ движеніе гайки, скрѣпленныя съ продольными балками, между которыми помѣщается камера; механизмъ приводится въ дѣйствіе электрическимъ моторомъ, который вполнѣ обеспечиваетъ соотвѣтственное движеніе всѣхъ четырехъ гаекъ.

Камера съ каждого конца закрывается помощью вертикально поднимаемыхъ затворовъ; затворы эти благодаря резиновой прокладкѣ—плотно прижимаются къ спеціальнымъ рамамъ на концахъ камеры. Такимъ-же образомъ запираются и отверстія верхняго и нижняго бьефовъ канала.

Плотное соприкасаніе конца камеры съ отверстіемъ канала достигается тѣмъ, что камера заканчивается клинообразной рамой, къ которой какъ бы притирается отверстіе канала своими косо срѣзанными закраинами.

Чтобы регулировать перемѣщеніе камеры, сохранять горизонтальное поло-



женіе послѣдней и, наконецъ, для предотвращенія аваріи при какомъ-либо несчастномъ случаѣ, примѣнены, какъ выше уже упомянуто, четыре винтовыхъ штанги. Очевидно, если всѣ винтовые штанги, имѣя одинаковые подъемы, вращаются съ одинаковой скоростью, то и всѣ четыре гайки будутъ также равномерно передвигаться вверхъ или внизъ и оставаться одна относительно другой на одинаковой высотѣ. А такъ какъ гайки неподвижно скрѣплены съ камерой, то и эта послѣдняя должна всегда сохранять свое горизонтальное положеніе. Механическій двигатель взять настолько сильный, что даже безъ надлежащей пере- или недогрузки камеры водою можетъ производить требуемое перемѣщеніе, преодолевая сумму всѣхъ вредныхъ сопротивленій.

Винтовые штанги рассчитаны и сверху и внизу настолько прочно закрѣплены, что въ случаѣ внезапнаго опорожненія камеры могутъ принять всю подъемную силу поплавковъ безъ ущерба самому сооруженію, и наоборотъ, въ случаѣ порчи поплавковъ или обдѣлки колодцевъ и ухода вслѣдствіе этого воды изъ нихъ могутъ поддержать камеру съ поплавками безъ всякихъ вредныхъ послѣдствій для судоподъемника.

Это замѣчательное сооруженіе было построено фирмою Haniel и Lueg изъ Дюссельдорфа. Расходы по постройкѣ достигли крупной суммы 3.250.000 франк. несмотря на очень хорошія свойства грунта, въ которомъ были вырыты колодцы для поплавковъ.

Ежегодные расходы на содержаніе и эксплуатацію судоподъемника выражаются въ суммѣ около 94.000 франковъ, не считая издержекъ на личный составъ. Такой крупный расходъ не составляетъ однако единственный недостатокъ этого сооруженія. Лучшимъ доказательствомъ этого можетъ служить хотя бы то обстоятельство, что Германское Правительство намѣрено на отвѣтвленіи бокового канала построить многокамерный шлюзъ. Есть, слѣдовательно, основаніе предполагать, что, если въ будущемъ ему придется строить судоподъемники на поплавкахъ, то они будутъ существенно отличаться отъ вышеописаннаго. Желающихъ познакомиться болѣе детально съ конструкціей этого судоподъемника отсылаемъ къ докладу инженеровъ La Rivière и Bourguin, напечатанному въ *Annales des Ponts et Chaussées* за 1904 годъ.

Наклонныя плоскости для перемѣщенія судовъ въ сухомъ видѣ.—Перемѣщеніе судовъ въ сухомъ видѣ по наклоннымъ плоскостямъ для перехода изъ одного бьефа въ другой восходитъ къ очень отдаленной отъ насъ эпохѣ. Мы полагаемъ что не лишены интереса рис. 59 и 60, изображающіе сооруженія подобнаго рода на рѣкѣ Ypres въ Ньюпортѣ. Изъ ри-

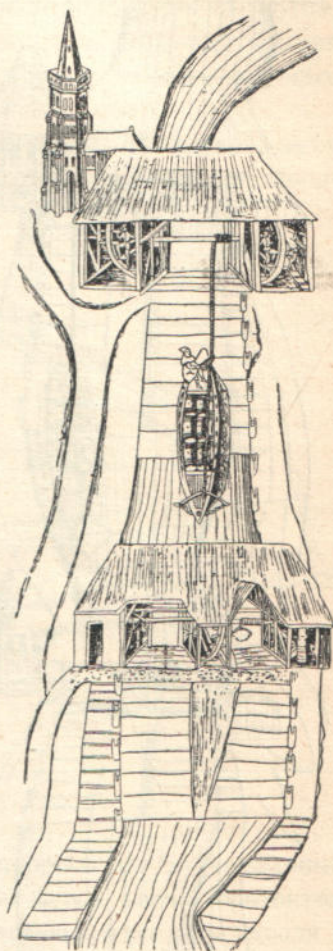


Рис. 59. Наклонныя плоскости на р. Ypres въ Ньюпортѣ.



сунка ясно, и какъ функционировали самыя сооружения, и какъ пользовались различными способами для получения необходимой движущей силы (ручной воротъ; воротъ, приводимый въ движеніе лошадьми). Слѣды ихъ можно было найти еще въ 19-мъ столѣтіи въ Бельгіи. Само собой разумѣется, что подобныя сооружения могли служить лишь для очень небольшихъ судовъ. Въ теченіи 19-го столѣтія въ различныхъ странахъ, въ особенности въ Америкѣ, стали строить наклонныя плоскости для судовъ болѣе значительныхъ размѣровъ. Онѣ представляютъ двѣ наклонныя плоскости, наклоненныя въ противоположныя стороны, причемъ подошва одной изъ нихъ находится въ нижнемъ бьефѣ, а подошва другой въ верхнемъ бьефѣ; пересѣченіе плоскостей, или конекъ, расположено нѣсколько выше горизонта верхняго бьефа. Суда передвигаются въ сухомъ видѣ на телѣжкахъ по желѣзной дорогѣ при помощи канатной передачи.

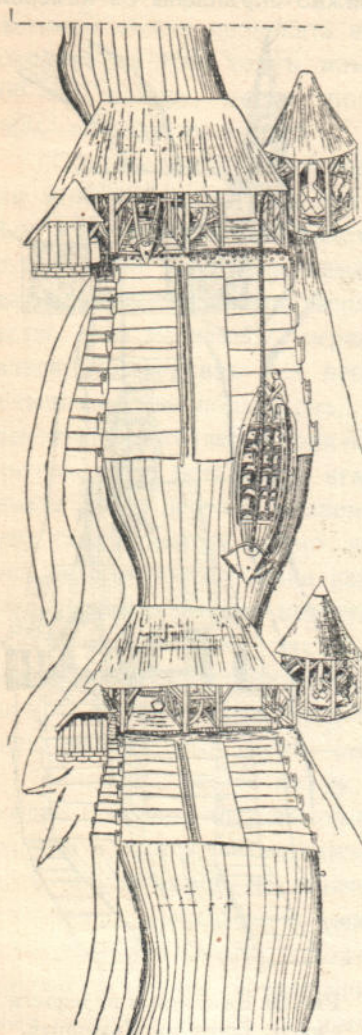


Рис. 60. Наклонныя плоскости на р. Упрес въ Ньюпортѣ.

При двухъ путяхъ обѣ телѣжки, поднимающаяся и опускающаяся, соединяются безконечнымъ канатомъ, такъ что онѣ взаимно уравниваютъ другъ друга. При такихъ условіяхъ двигатель долженъ преодолевать только разность въ нагрузкѣ обѣихъ телѣжекъ и вредныя сопротивленія. Укажемъ на слѣдующія три сооружения подобнаго типа.

Въ Соединенныхъ Штатахъ каналъ Morris былъ построенъ съ 23 наклонными плоскостями подъ два пути. Сооруженіе канала было закончено въ 1835 г.; но съ тѣхъ поръ наклонныя плоскости подверглись различнымъ измѣненіямъ; подъемъ различныхъ плоскостей варьируетъ отъ 10,68 метр. до 30,50 метр., уклонъ отъ  $\frac{1}{10}$  до  $\frac{1}{12}$ ; перемѣщаемыя суда длиною въ 24 метра и шириною 3,20 метра имѣютъ водоизмѣщеніе въ 70 тоннъ. Полный вѣсъ перемѣщаемой тяжести, включая сюда телѣжку и корпусъ судна, доходитъ до 110 тоннъ. Телѣжки имѣютъ восемь осей.

Въ каналѣ Oberland'a въ Пруссіи, открытомъ въ 1860-мъ году, имѣется пять наклонныхъ плоскостей подъ два пути; подъемъ измѣняется отъ

18,83 метра до 24,48 метровъ; уклонъ въ среднемъ равенъ  $\frac{1}{12}$ ; водоизмѣщеніе судовъ равно 70 тоннъ, полный перемѣщаемый грузъ, включая телѣжку и корпусъ судна, доходитъ до 105 тоннъ; грузъ распредѣляется на четыре оси.

Во Франціи въ 1888 г. была сооружена наклонная плоскость для установленія сообщенія между каналомъ de l'Ourcq и Марной; она устроена подъ одинъ путь. Нормальная разность уровней воды въ соединяемыхъ бьефахъ равна 12,17 метровъ.; уклонъ на одномъ склонѣ равенъ  $\frac{1}{23}$ , на другомъ— $\frac{1}{16}$ . Перемѣщаемыя



суда имѣютъ длину въ 28 метр., ширину въ 3,10 метр. и водоизмѣщеніе въ 70 тоннъ; полный перемѣщаемый грузъ вмѣстѣ съ телѣжкой и корпусомъ судна равенъ 110 тон.; этотъ грузъ распредѣляется на четыре оси.

Каналъ de l'Ourgcq находится всего въ 450 метрахъ отъ Марны вблизи плотины des Basses-Fermes. Часть движущей силы, возникающей вслѣдствіе паденія воды въ плотинѣ, была уступлена предпринимателю M. Fournier, который пользуется ею для передвиженія судовъ отъ одного судоходнаго пути къ другому. Къ перемѣщаемымъ посредствомъ наклонной плоскости судамъ относятся исключительно суда, плавающія въ каналѣ de l'Ourgcq, размѣры и тоннажъ которыхъ были указаны выше.

Сооруженіе Fournier состоитъ изъ двухъ наклонныхъ плоскостей, имѣющихъ общую длину въ 453 метра. Первая плоскость со стороны Марны съ подъемомъ въ 0,04 метра на погонный метръ длины, беретъ свое начало въ бассейнѣ, соединенномъ съ рѣкой выше плотины; вторая плоскость со стороны канала de l'Ourgcq, съ паденіемъ въ 0,06 метра на погонный метръ длины, кончается другимъ бассейномъ, образованнымъ посредствомъ уширенія канала de l'Ourgcq въ этомъ мѣстѣ (рис. 61). Нижний бассейнъ соединяется съ рѣкой посредствомъ бокового отвѣтвленія длиною въ 373 метра, шириною въ 11,90 метра въ уровнѣ горизонта воды и въ 7 метровъ въ уровнѣ дна, глубиною въ 2,20 метра. Вода, взятая изъ рѣки выше плотины, отдается ей ниже плотины, причемъ часть живой силы воды расходуется на приведеніе въ движеніе турбины мощностью въ 50 лошадиныхъ силъ. Конекъ наклонной плоскости поднятъ на 0,50 метра надъ горизонтомъ воды въ каналѣ, чтобы устранить возможность перелива воды изъ канала въ рѣку.

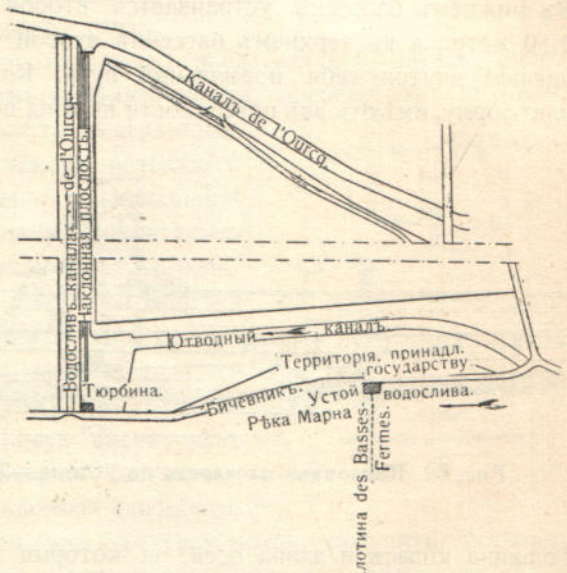


Рис. 61.

Верхнее строеніе пути состоитъ изъ стальныхъ рельсовъ Виньолевского типа, положенныхъ на шпалы; высота рельса и ширина подошвы равны 0,13 метр.; всѣ погоннаго метра рельса равенъ 42 килограммамъ. По оси пути на тѣ-же поперечины кладется зубчатая рейка.

Металлическая телѣжка состоитъ изъ платформы длиною въ 24 метра и шириною въ 3 метра, считая между осями продольныхъ балокъ; платформа располагается на двухъ четырехколесныхъ телѣжкахъ, отстоящихъ на 12 метр. одна отъ другой (рис. 62). Въ каждой телѣжкѣ есть зубчатое колесо, которое приходитъ въ сѣпленіе съ вышеупомянутой зубчатой рейкой.

Зубчатое колесо посредствомъ зубчатой передачи приводится въ дѣйствіе безконечнымъ канатомъ, приводимымъ въ движеніе турбиной. Вмѣсто зубчатого



колеса, сцепляющагося съ рейкой, на рисункѣ 62-мъ показанъ блокъ съ зубчатыми колесами, сцепляющимися съ калиброванной цѣпью. Такая конструкция, заимствованная изъ туерной передачи Vouquié, была дѣйствительно сначала примѣнена, но потомъ отъ нея принуждены были отказаться.

Когда телѣжка движется по наклонной плоскости, то платформа имѣетъ такой-же наклонъ, какъ и самая плоскость, и это не представляетъ никакихъ неудобствъ для перемѣщаемаго судна. Но съ того момента, какъ телѣжка начинаетъ погружаться въ бассейнъ для того, чтобы отдать или принять судно, очень важно, чтобы платформа была горизонтальна и оставалась въ такомъ положеніи до тѣхъ поръ пока судно не выйдетъ изъ воды или не погрузится въ воду. Для этой цѣли устраиваютъ слѣдующія приспособленія.

Нормальная ширина пути равна 1,94 метра, считая между осями рельсовъ. Въ нижнемъ бассейнѣ устраивается второй путь внутри перваго шириною въ 1,50 метр., а въ верхнемъ бассейнѣ второй путь шириною въ 2,40 метр., заключающій внутри себя нормальный путь. Колеса телѣжекъ, поддерживающихъ платформу, имѣютъ двѣ поверхности катанія по обоимъ краямъ банджа (рис. 63).

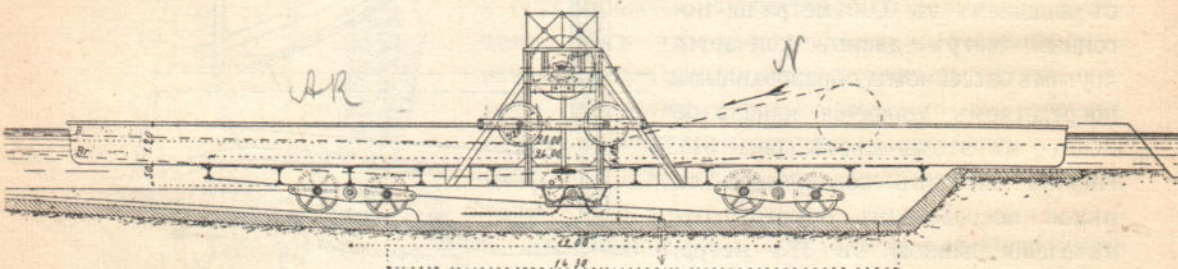


Рис. 62. Наклонная плоскость de l'Ouqeq.—Телѣжка, поддерживающая судно.

Толщина колесъ и длина осей, на которыя они насажены, таковы, что колеса задней телѣжки (AR), смотря по обстоятельствамъ, могутъ двигаться по нормальному пути посредствомъ своихъ наружныхъ поверхностей катанія, или же по пути шириною въ 1,50 метра посредствомъ своихъ внутреннихъ поверхностей катанія, тогда какъ колеса передней телѣжки (N) могутъ двигаться или по нормальному пути посредствомъ внутреннихъ поверхностей катанія, или же по пути шириною въ 2,40 метра посредствомъ своихъ наружныхъ поверхностей катанія. Предположимъ теперь, что платформа съ телѣжками погружена въ нижній бассейнъ: платформа при этомъ горизонтальна, колеса задней телѣжки находятся на суженномъ пути, а колеса передней телѣжки на нормальномъ пути. Такъ какъ оба пути параллельны между собой, то при движеніи платформа будетъ оставаться параллельной самой себѣ, т. е. горизонтальной до тѣхъ поръ, пока она вполне не выйдетъ изъ воды. Начиная съ этого момента колеса передней телѣжки (N) продолжаютъ катиться по нормальному, пути съ тѣмъ же уклономъ, что и раньше, тогда какъ колеса задней телѣжки (AR) по суженному пути съ очень незначительнымъ уклономъ; платформа начинаетъ тогда постепенно наклоняться и, когда всѣ колеса переходятъ на нормальный путь, принимаетъ тотъ же наклонъ, какой имѣетъ послѣдній.



При спускѣ въ верхній бассейнъ будутъ имѣть мѣсто аналогичныя явленія, только въ обратномъ порядкѣ.

Вѣсъ платформы съ телѣжками равенъ 35 тоннамъ. Полный вѣсъ движущейся системы съ судномъ равенъ 110 тоннамъ. Скорость движенія платформы равна 0,25 метра въ сек., что даетъ 30 минутъ для пробѣга всего разстоянія въ 450 метровъ.

На практикѣ необходимо считать отъ 35 до 40 минутъ особенно для подъема. Такимъ образомъ оказывается, что на передвиженіе платформы въ два конца нужно времени около одного часа съ четвертью.

Наклонныя плоскости для перемѣщенія судовъ въ плавающимъ состояніи. — Въ зависимости отъ того, какъ расположено судно въ камерѣ, вдоль или поперекъ по отношенію къ пути передвиженія, эти плоскости бываютъ двухъ типовъ — съ продольнымъ и поперечнымъ перемѣщеніемъ. Рассмотримъ сначала плоскости перваго типа.

Въ этой системѣ платформа на телѣжкахъ представляетъ камеру, наполненную водой и имѣющую по своимъ концамъ ворота, посредствомъ которыхъ она можетъ попеременно сообщаться то съ верхнимъ, то съ нижнимъ бьефомъ. Чтобы камера оставалась горизонтальной при своемъ движеніи по наклонной плоскости, задняя часть ея приподнята сравнительно съ передней на соответственную величину. Устроенный такимъ образомъ подвижной шлюзъ отличается характерной особенностью: независимо отъ размѣровъ и нагрузки судна вѣсъ камеры съ нимъ является постоянной величиной благодаря тому, что вода въ камерѣ всегда должна имѣть одинаковую высоту надъ дномъ ея. Поэтому для уравниванія составляющей силы тяжести, параллельной наклонной плоскости, необходима одна и таже постоянная сила. Эту силу можно получить, устраивая вторую камеру одинаковую съ первой и соединенную съ ней посредствомъ каната и направляющаго блока, установленнаго въ вершинѣ плоскости. Такимъ образомъ получается наклонная плоскость съ двумя путями. Тѣ же результаты можно получить посредствомъ двухъ телѣжекъ, достаточно нагруженныхъ и перемѣщающихся по двумъ путямъ, расположеннымъ параллельно главному по обѣимъ сторонамъ его. Эти телѣжки соединяются съ подвижной камерой посредствомъ канатовъ и блоковъ, но въ этомъ случаѣ мы будемъ имѣть наклонную плоскость съ однимъ путемъ.

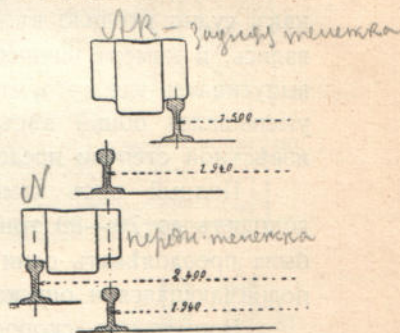


Рис. 63.

Наклонная плоскость Black-Hill. — Наклонная плоскость Black-Hill была построена близъ Глазго въ 1850-мъ году. Уклонъ ея былъ принятъ въ  $\frac{1}{10}$  въ обѣ стороны. Разность горизонтовъ верхняго и нижняго бьефовъ равна 29,28 метра. Наклонной плоскостью пользовались для перемѣщенія лишь порожнихъ судовъ длиной въ 21,35 метра, включая сюда и руль шириною въ 4,12 метр. съ осадкой отъ 0,46 до 0,55 метра. Грузенныя суда пропускались черезъ имѣющіеся по близости шлюзы.

Подвижныя металлическія камеры имѣли длину въ 21,34 метра, ширину въ 4,36 метра и глубину въ 0,84 метра. Глубина воды въ нихъ обыкновенно не



превосходила 0,61 метра. Камера поддерживалась телѣжкой, устроенною такъ, что камера оставалась въ горизонтальномъ положеніи при движеніи по наклонной плоскости. Число всѣхъ осей телѣжки равнялось 10. Концы камеры закрывались подъемными щитовыми затворами.

Достигнувъ своего крайняго нижняго положенія, камера погружалась въ нижній бьефъ. Достаточно было открыть ворота со стороны этого бьефа, чтобы впустить въ камеру или выпустить изъ нея судно безъ какой либо потери воды. Поднявшись до своего крайняго верхняго положенія, камера плотно прижималась къ головѣ шлюза, которымъ кончается верхній бьефъ; необходимое для этого давленіе получается съ помощью гидравлическаго пресса. Маневрируя соотвѣтственнымъ образомъ воротами подвижной камеры и головы шлюза, можно по желанію прекратить или установить сообщеніе между камерой и каналомъ. Легко видѣть, что потери воды при подобныхъ маневрахъ крайне незначительны.

Первоначально предполагалось перемѣщать судно въ плавучемъ состояніи въ камерѣ, но затѣмъ выработали слѣдующій практическій приѣмъ. Послѣ того какъ судно входило въ камеру, погруженную въ нижній бьефъ, ворота закрывались, и камера начинала выходить изъ воды; тогда часть воды изъ камеры выпускалась для того, чтобы судно слегка сѣло на дно. Благодаря такому приѣму уменьшался общій вѣсъ перемѣщаемой системы, и вмѣстѣ съ тѣмъ судно до извѣстной степени предохранялось отъ качки.

Полный вѣсъ камеры вмѣстѣ съ телѣжкой, водой и порожнимъ судномъ доходилъ до 70—80 тоннъ. Двигателемъ была паровая машина, которая должна была преодолевать одни только вредныя сопротивленія, такъ какъ обѣ камеры—поднимающаяся и опускающаяся—почти уравнивались.

Нормальная скорость движенія по наклонной плоскости была около 0,90 метр. въ секунд. Продолжительность всей операціи въ среднемъ равнялась десяти минутамъ. Въ настоящее время наклонная плоскость Black-Hill не существуетъ; уже много лѣтъ тому назадъ она замѣнена двумя системами шлюзовъ.

Наклонныя плоскости съ поперечнымъ перемѣщеніемъ. — Идея устройства такихъ наклонныхъ плоскостей принадлежитъ Flamant, генеральному инспектору мостовъ и шоссе. Сущность этой системы заключается въ томъ, что подвижная камера перемѣщается поперекъ своей длины. Въ 1890-мъ году онъ представилъ проектъ такого сооруженія для судовъ съ водоизмѣщеніемъ въ 300 тоннъ. Высота паденія равнялась 30 метрамъ.

При такой системѣ конструкція телѣжки, поддерживающей камеру, значительно упрощается, такъ какъ возмѣщеніе паденія наклонной плоскости дѣлается здѣсь на протяженіи ширины камеры, а не длины, благодаря этому можно допускать значительно большіе уклоны, такъ Flamant предложилъ уклонъ въ  $\frac{1}{8}$ .

Примѣненіе этой системы было сдѣлано въ Англіи. Въ 1900 году на Junction-Canal'ѣ въ Foxton'ѣ была устроена наклонная плоскость съ паденіемъ въ 22,925 метра взамѣнъ системы, состоявшей изъ десяти шлюзовъ, и, повидимому, достигнутые результаты оправдали ожиданія.

Оборудованіе состоитъ изъ двухъ взаимно уравнивающихся камеръ. Каждая изъ нихъ имѣетъ длину въ 24,40 метра, ширину въ 4,575 метра и глубину въ 1,525 метра. Глубина воды въ камерѣ равна 1,20 метра. Каждая камера



можетъ вмѣщать два судна съ водоизмѣненіемъ въ 33 тонны, или одно съ водоизмѣненіемъ въ 70 тоннъ. По концамъ камеры устроены подъемные щитовые затворы. Всѣхъ колесъ, поддерживающихъ камеру, 8 паръ; эти колеса движутся по 4-мъ рельсовымъ путямъ (рис. 64). Уклонъ плоскости равенъ  $\frac{1}{4}$ . Въ дѣйствительности имѣется двѣ наклонныхъ плоскости, пути для которыхъ соотвѣтственно обозначены буквами V и V' и продолжаются ниже горизонта воды въ нижнемъ бьефѣ. Въ самой низкой точкѣ своего пути опускающаяся камера S' погружена въ нижній бьефъ. Вода находится на одномъ уровнѣ снаружи и внутри ея; достаточно поднять ворота со стороны нижняго бьефа, чтобы судно могло войти или выйти изъ камеры; здѣсь нѣтъ никакой необходимости помѣщать вторыя ворота въ нижнемъ бьефѣ. Когда поднимающаяся камера S достигаетъ своей наивысшей точки, закрывающія ее ворота со стороны верхняго бьефа находятся противъ такихъ же воротъ, закрывающихъ соотвѣтствующую голову T этого бьефа. Чтобы получить непроницаемое соединеніе между подвижной камерой и бьефомъ, первая плотно прижимается ко второму посредствомъ гидравлическаго пресса.

Послѣ того какъ наполнено водой вредное пространство между обоими смежными воротами, ихъ поднимаютъ, и судно можетъ свободно войти въ камеру изъ бьефа или наоборотъ изъ камеры въ бьефъ. Новое сооруженіе у Foxton'a имѣло своимъ ближайшимъ результатомъ значительную экономію въ расходѣ воды. Кромѣ того, въ настоящее время достаточно 12 минутъ для прохода двухъ большихъ или четырехъ малыхъ судовъ, такъ что въ теченіе 12 часовъ въ день могло пройти отъ 190 до 200 судовъ. Между тѣмъ система шлюзовъ требовала 1 часъ 20 минутъ для прохода двухъ судовъ въ томъ и другомъ направленіи. Общій видъ Foxton'ской плоскости изображенъ на рисункѣ 65-мъ.

Желѣзные дороги для судовъ. Данныя опытовъ относительно наклонныхъ плоскостей для перемѣщенія судовъ въ плавающимъ состояніи можно резюмировать въ нѣсколькихъ словахъ. Что касается камеръ съ продольнымъ перемѣщеніемъ, то результаты опытовъ оказались мало утѣшительными; относительно камеръ съ поперечнымъ перемѣщеніемъ сдѣланныя наблюденія не могутъ пока имѣть рѣшающаго значенія, такъ какъ, напримѣръ, наклонная плоскость въ Foxton'ѣ функционируетъ сравнительно недавно и къ тому же пропускаетъ суда не большихъ размѣровъ. Поэтому нѣтъ ничего удивительнаго, что въ послѣднее время возобновились попытки перемѣщенія судовъ въ сухомъ видѣ, какъ это имѣло мѣсто въ проектѣ, составленномъ для прохода черезъ перешеекъ Chignecto, отдѣляющій Шотландію отъ Новаго Brunswick въ Канадѣ, судовъ вмѣстимостью до

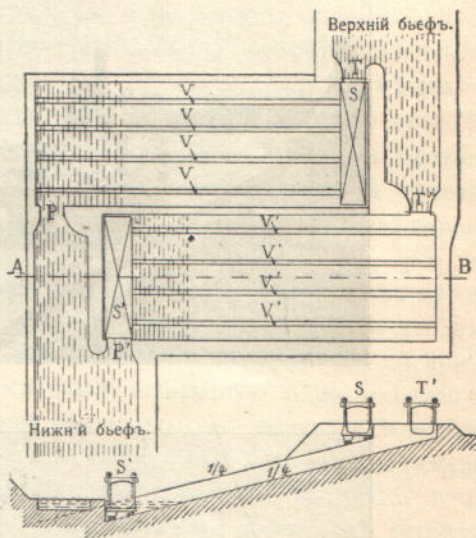


Рис. 64. Продольный разрѣзъ по АВ.



2000 тоннъ на разстояніи 27 километровъ. Этотъ проектъ былъ представлень подь названіемъ «желѣзной дороги для судовъ».

Сравненіе различныхъ способовъ перемѣщенія судовъ при большихъ паденіяхъ. Приведемъ прежде всего таблицу, въ которой сгруппированы высоты паденій различныхъ судоподъемниковъ и наклонныхъ плоскостей:

Судоподъемникъ	des Fontinettes . . . . .	13,13 метра.	
»	de Henrichenbourg . . . . .	отъ 14 до 16	»
»	d'Anderton . . . . .	15,25	»
»	Центрального канала въ		
	Бельгии . . . . .	16,93	»

300 м  
600 м

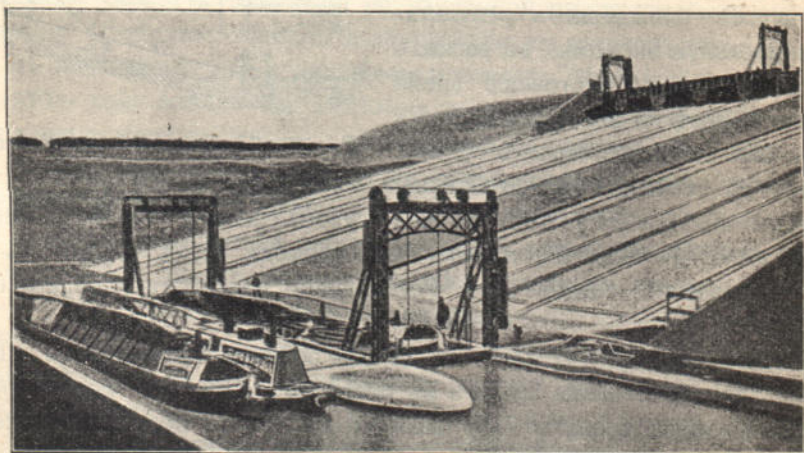
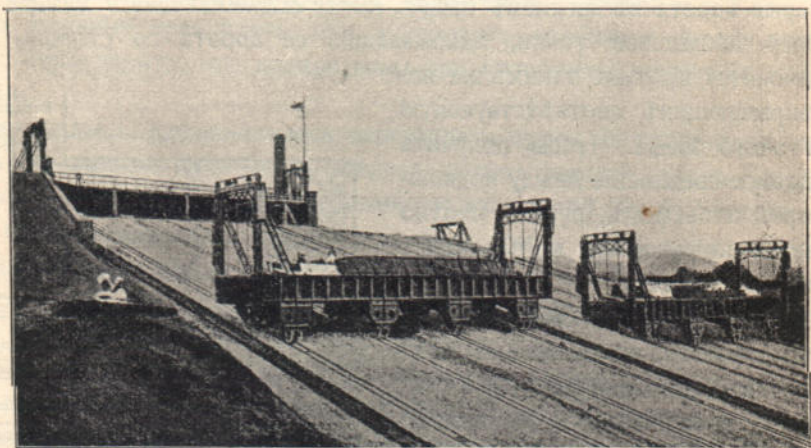


Рис. 65. Общій видъ Foxton'ской плоскости.

Наклонная плоскость	Georgetown . . . . .	11,60 метра.	
»	канала de l'Ourcq . . . . .	12,17	»
»	de Foxton . . . . .	22,92	»
»	канала d'Oberland . . . . .	24,43	»
»	de Black-Hill . . . . .	29,30	»
»	канала Morris . . . . .	30,50	»

70 м



Отсюда мы видимъ, что судоподъемники до сихъ поръ примѣнялись при высотѣ паденія въ среднемъ около 15 метровъ, тогда какъ въ наклонныхъ плоскостяхъ эта высота доходила до величинъ вдвое большихъ.

Устройство всѣхъ вышеуказанныхъ сооружений было вызвано по большей части двумя обстоятельствами — необходимостью возмѣстить очень большое паденіе на небольшомъ протяженіи канала и стремленіемъ уменьшить, насколько возможно, расходъ воды въ каналѣ. Такія исключительныя условія дѣйствительно могутъ оправдывать примѣненіе указанныхъ выше механическихъ приспособленій для перемѣщенія судовъ. Но нѣкоторые инженеры пошли въ этомъ отношеніи гораздо дальше: они задались вопросомъ, не должно-ли примѣненіе этихъ механическихъ приспособленій привести къ полному перевороту въ области сооружения искусственныхъ водныхъ путей, не наступило-ли уже время отказаться отъ шлюзовъ, какъ сооружений устарѣлыхъ, и не должны-ли каналы въ будущемъ состоять исключительно изъ очень длинныхъ бьефовъ, раздѣленныхъ судоподъемниками или наклонными плоскостями, которые сразу возмѣщаютъ собой большія паденія. Тогда будутъ устранены частыя остановки, неизбѣжныя при прохожденіи многочисленныхъ шлюзовъ; механическія приспособленія для тяги судовъ могутъ быть примѣнены при условіяхъ гораздо болѣе благоприятныхъ, чѣмъ въ случаѣ короткихъ бьефовъ, наконецъ достигается одновременно экономія во времени и въ водѣ.

Однако надо не забывать, что устройство длинныхъ бьефовъ имѣетъ не только достоинства, но и крупные недостатки. Немного далѣе мы увидимъ, что въ общемъ количествѣ воды, необходимомъ для питанія канала, расходъ ея при пропускѣ черезъ шлюзы составляетъ относительно небольшую долю. Большая часть всего расхода падаетъ на пополненіе той убыли, которая возникаетъ вслѣдствіе свойствъ почвы, т. е. вслѣдствіе фильтраціи. Слѣдуя на большомъ протяженіи по одной и той-же горизонтали склона долины, мы неизбѣжно все болѣе и болѣе поднимаемся надъ дномъ этой долины, а это можетъ повести къ встрѣчѣ съ гораздо болѣе водопроницаемыми грунтами, и можетъ въ результатѣ получиться, что на фильтрацію потери будутъ значительно больше тѣхъ сбереженій, которыя можно получить отъ примѣненія длинныхъ бьефовъ.

Кромѣ того, устраивая каналъ на значительной высотѣ надъ дномъ долины, мы тѣмъ самымъ удаляемъ его отъ богатыхъ и густо-заселенныхъ промышленныхъ и торговыхъ центровъ, что уже оказывается весьма нежелательнымъ, такъ какъ каналъ въ такомъ случаѣ не удовлетворяетъ одному изъ главныхъ своихъ назначеній — обслуживать нужды культурныхъ центровъ.

Если мы теперь вернемся къ вопросу о времени, то здѣсь прежде всего надо разсмотрѣть отдѣльно двѣ величины — время, потребное для прохода судна по всему каналу, и число судовъ, которое можетъ пропустить каналъ въ сутки или, такъ называемую, суточную пропускную способность канала; послѣдняя опредѣляется по наименьшей суточной пропускной способности искусственныхъ сооружений, все равно, будетъ-ли это шлюзъ, или судоподъемникъ, или наклонная плоскость. Для большей наглядности приведемъ числовой примѣръ: положимъ, что шесть шлюзовъ, находящихся въ достаточно короткой части канала, могутъ быть замѣнены однимъ сооруженіемъ, пропускающимъ судно въ полъ часа, тогда какъ проходъ черезъ каждый шлюзъ требуетъ 20 минутъ. Время



прохождения остальной части канала пусть въ обоихъ случаяхъ остается одинаковымъ. Очевидно, что при замѣнѣ шести шлюзовъ однимъ сооруженіемъ каждое судно выигрываетъ полтора часа въ продолжительности прохождения канала, но за то пропускная способность пути уменьшится въ полтора раза. Итакъ мы видимъ, насколько этотъ вопросъ представляется серьезнымъ и требующимъ самаго серьезнаго къ нему отношенія. Небезынтересно заключеніе по этому вопросу IX-го Международнаго Конгресса по судоходству, сдѣланное послѣ подробнаго разсмотрѣнія цѣлой серіи докладовъ, посвященныхъ вопросу о преодолѣніи большихъ паденій на внутреннихъ водныхъ путяхъ.

1.—«Камерные шлюзы остаются самымъ простымъ и надежнымъ средствомъ для преодоленія большихъ паденій канала. Сберегательные бассейны позволяютъ значительно уменьшить расходъ воды безъ увеличенія продолжительности наполненія камеръ. Желательны дальнѣйшія усовершенствованія въ смыслѣ еще большаго уменьшенія расхода».

2.—«Въ случаѣ исключительно большихъ паденій на небольшомъ протяженіи система парныхъ многокамерныхъ шлюзовъ является вполне примѣнимой для каналовъ съ весьма интенсивнымъ судоходствомъ, если питаніе канала водой вполне обезпечено. Въ противномъ случаѣ, т. е. при недостаткѣ воды для питанія, вертикальные судоподъемники представляютъ собой вполне испытанный на практикѣ способъ передвиженія».

3.—«Наклонныя плоскости, примѣнявшіяся до сихъ поръ для перемѣщенія судовъ небольшихъ размѣровъ, стали объектомъ для цѣлаго ряда остроумныхъ проектовъ, имѣвшихъ въ виду сдѣлать ихъ пригодными и для судовъ съ большимъ водоизмѣщеніемъ. Конгрессъ выражаетъ пожеланіе, чтобы были сдѣланы въ возможно скоромъ времени опыты примѣненія такихъ сооружений на практикѣ».

## ГЛАВА VI.

### Расходъ воды въ каналахъ.

Въ предыдущихъ главахъ мы послѣдовательно разсмотрѣли поперечное сѣченіе каналовъ, ихъ трассировку и спеціальныя искусственныя сооруженія на каналахъ. Уже при разсмотрѣніи этихъ вопросовъ много разъ указывалось на большое значеніе питанія. Такъ называютъ обыкновенно совокупность всѣхъ приспособленій, имѣющихъ своимъ назначеніемъ обезпечить въ каждомъ пунктѣ канала притокъ необходимаго количества воды для поддержанія постоянной глубины, соотвѣтствующей осадкѣ циркулирующихъ судовъ. Но прежде чѣмъ обратиться къ изученію этихъ приспособленій, необходимо хорошо знать тѣ потребности, для удовлетворенія которыхъ они существуютъ, т. е. надо быть освѣдомленнымъ относительно расходванія воды въ каналахъ.

Необходимо различать полезный расходъ, соотвѣтствующій функціонированію шлюзовъ или другихъ сооружений, предназначенныхъ для перемѣщенія судовъ, и потери. Эти послѣднія происходятъ отъ разныхъ причинъ, но потери вслѣдствіе фильтрацій черезъ грунтъ заслуживаютъ особаго вниманія, такъ какъ по величинѣ онѣ оказываются наибольшими.



Изученіе способовъ, примѣняемыхъ для уменьшенія потерь, какъ во время сооруженія канала, такъ и въ послѣдствіи при его эксплуатаціи, тѣсно связаны съ вопросомъ о расходованіи воды въ каналахъ.

Такимъ образомъ настоящая глава дѣлится на четыре части: полезный расходъ; потери; мѣры предосторожности при исполненіи земляныхъ работъ; работы по достиженію водонепроницаемости.

Полезный расходъ. Нормальный расходъ въ шлюзахъ.—Чтобы судно могло пройти черезъ шлюзъ, необходимо предварительно заимствовать въ верхнемъ бьефѣ количество воды, потребное для наполненія камеры съ цѣлью поднять уровень воды въ ней отъ горизонта нижняго до горизонта верхняго бьефа. Если судно восходитъ, то верхній бьефъ долженъ дать еще добавочное количество воды, равное водоизмѣщенію судна, въ тотъ моментъ, когда судно выходитъ изъ камеры; напротивъ, когда судно спускается, то при входѣ въ шлюзъ объемъ воды, равный его водоизмѣщенію, отдается назадъ верхнему бьефу. Среднее изъ обоихъ количествъ точно равно объему воды, необходимому для питанія шлюза.

Это среднее количество уменьшается на половину, когда можно воспользоваться однимъ и тѣмъ-же маневромъ для пропуска двухъ судовъ, двигающихся въ противоположныхъ направленіяхъ. На практикѣ стараются по возможности осуществить подобную комбинацію, но выполнять ее всегда невозможно, и, такъ какъ въ вопросѣ расходованія воды всегда слѣдуетъ рассчитывать съ большимъ запасомъ, то надо поставить себѣ за правило, что шлюзъ столько разъ расходуетъ объемъ воды, необходимый для его питанія, сколько судовъ проходитъ черезъ него въ обоихъ направленіяхъ.

Не лишено интереса привести нѣкоторыя цифровыя данныя. Пусть мы имѣемъ шлюзъ типа, установленнаго закономъ во Франціи, съ вертикальными стѣнками; площадь камеры, наполняемой водой, равна произведенію длины на ширину; но здѣсь необходимо брать не полезную длину (а) его полную длину отъ короля до короля, т. е. въ круглыхъ цифрахъ 43 метра, а ширину надо довести до 5,35 метра, принимая въ расчетъ нижній шкафъ; мы получаемъ такимъ путемъ площадь 230 кв. метр., считая въ круглыхъ цифрахъ.

При обыкновенной высотѣ паденія въ 3 метра объемъ воды, необходимый для питанія шлюза, будетъ равенъ  $230 \times 3 = 690$  куб. метр., или, округляя, получимъ 700 куб. метр. Принимая, что въ сутки шлюзъ пропускаетъ 17 судовъ, получимъ ежедневный расходъ равнымъ  $700 \times 17 = 11.900$  куб. метр.

Съ увеличеніемъ высоты паденія или размѣровъ шлюза въ планѣ увеличивается объемъ воды, необходимый для питанія шлюза, а слѣдовательно пропорціонально ему и расходъ воды. Въ шлюзахъ канала du Centre, имѣющихъ паденіе въ 5,20 метр., объемъ воды для питанія шлюза считаютъ въ 1200 куб. метровъ, въ большой камерѣ головного шлюза канала de Saint-Denis этотъ объемъ достигаетъ почти 4800 куб. метровъ и т. д. Мы видимъ, слѣдовательно, что этотъ объемъ воды бываетъ очень значителенъ, поэтому понятно, почему инженеры уже съ давнихъ поръ заняты изученіемъ вопроса объ уменьшеніи расходовъ воды въ шлюзахъ.

Сберегательные бассейны.—Очень распространеннымъ въ настоящее время способомъ сбереженія воды является устройство такъ называемыхъ сбе-



регательныхъ бассейновъ. Такъ называютъ бассейнъ, устроенный вблизи камеры шлюза и могущій при желаніи быть соединеннымъ съ ней. Въ началѣ опорожненія камеры вмѣсто того, чтобы выпускать воду въ нижній бьефъ, направляютъ ее въ бассейнъ. Этотъ сбереженный объемъ воды поступаетъ въ камеру въ началѣ наполненія ея при слѣдующемъ маневрѣ, такъ что въ верхнемъ бьефѣ придется заимствовать только часть полного объема воды, необходимаго для питанія шлюза. Функционированіе такой системы лучше всего выясняется на конкретномъ примѣрѣ. Пусть  $h$  есть высота паденія въ шлюзѣ (рис. 66); предположимъ, что въ планѣ камера и бассейнъ одинаковы, и что дно бассейна расположено на  $\frac{h}{3}$  надъ горизонтомъ воды въ нижнемъ бьефѣ. Если, при прохожденіи шлюза спускающимся судномъ соединить сначала полную камеру съ бассейномъ, то, предполагая его пустымъ, камера опорожнится на  $\frac{1}{3}$  сливной призмы, тогда какъ бассейнъ наполнится до половины. Затѣмъ прекращаютъ сообщеніе между камерой и бассейномъ и опорожняютъ ее обычнымъ путемъ. При восхожденіи судна, послѣ того какъ нижнія ворота закрыты, устанавливаютъ вновь сообщеніе между камерой и бассейномъ; тогда вода изъ послѣдняго обратно переходитъ въ камеру, наполняя ее до  $\frac{1}{3}$  сливной призмы; слѣдовательно, изъ верхняго бьефа придется заимствовать только  $\frac{2}{3}$  полного расхода, потребнаго при отсутствіи сберегательнаго бассейна.

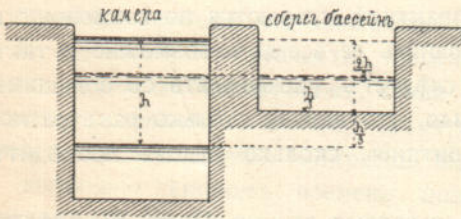


Рис. 66.

Подобное устройство было примѣнено въ шлюзахъ съ паденіемъ въ 9.92 метр. на каналѣ Saint-Denis. Функционированіе его удовлетворительно, но время наполненія камеры при пользованіи сбере-

гательнымъ бассейномъ нѣсколько увеличивается, вслѣдствіи чего здѣсь имъ пользуются только во время недостатка воды.

Удлиненіе времени наполненія шлюза является серьезнымъ недостаткомъ системы, но его можно значительно уменьшить, если примѣнить такую конструкцию затвора, при которой возможно прекратить сообщеніе между камерой и бассейномъ въ тотъ моментъ, когда истеченіе происходитъ еще при достаточно сильномъ давленіи.

Сберегательные бассейны шлюзовъ канала de Charleroi въ Брюсселѣ. Рисунокъ 67 даетъ только схематическое изображеніе системы. Онъ помѣщенъ нами для того, чтобы дать понятіе о перемѣщеніи воды изъ шлюза въ бассейны и обратно. Ширина шлюза равна 5.20 метр., полезная длина—40.80 метровъ, паденіе—4.10 метр., глубина у нижняго короля—2.90 метр. Оба бассейна располагаются сбоку камеры и имѣютъ площади въ среднемъ немного большія площади камеры (ниже будетъ объяснено почему).

Оба бассейна находятся въ различныхъ уровняхъ; дно верхняго бассейна устроено на половинѣ высоты паденія, т. е. оно на 2.05 метр. ниже горизонта воды въ верхнемъ бьефѣ; дно нижняго бассейна устроено на высотѣ  $\frac{3}{4}$  всего паденія, т. е. оно расположено на 3.07 метр. ниже того-же горизонта.

При опорожненіи камеры заставляютъ сначала слой воды толщиной въ 0.95 метра (см. на схемѣ площадь заштрихованную влѣво) перейти изъ камеры











части при помощи пропитанной жиромъ кожи, при чемъ и каучукъ и кожа прижаты водой къ закрываемому ими отверстію. Если теперь предположить, что вода притекаетъ извнутри подвижнаго цилиндра, то каучуковое кольцо будетъ продолжать функционировать по прежнему, но кожа напротивъ будетъ имѣть стремленіе открыть закрываемую ею щель. Затворъ, оставаясь непроницаемымъ въ своей нижней части, перестанетъ быть таковымъ въ мѣстѣ соединенія подвижнаго цилиндра съ неподвижнымъ.

Но если въ верхней части подвижнаго цилиндра прибавить еще другую кожаную полосу, симметрично расположенную относительно первой, то непроницаемость будетъ обезпечена также противъ воды, проникающей съ внутренней части цилиндра. На рисункѣ 70 показана конструкція такого затвора, непроницаемаго какъ подъ давленіемъ снаружи, такъ и подъ давленіемъ извнутри.

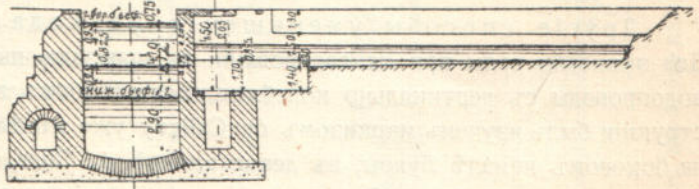
Съ другой стороны, вода, проникающая съ внутренней стороны затвора, оказываетъ на крышку давленіе, стремящееся приподнять ее; чтобы уравнивать это давленіе, необходимо прочно укрѣпить направляющую раму посредствомъ анкеровъ. Но такой затворъ съ крышкой подвергается частымъ колебательнымъ движеніямъ, вслѣдствіе чего анкерныя связи могутъ довольно скоро поломаться. Поэтому, предпочли совершенно устранить крышку, и продолжить неподвижный цилиндръ посредствомъ желѣзной трубы одинаковаго съ цилиндромъ діаметра, поднимающейся надъ горизонтомъ воды въ верхнемъ бьефѣ; благодаря такой конструкціи устраняется всякая возможность поднятія цилиндра.

Другіе примѣры сберегательныхъ бассейновъ. Упомянемъ еще о примѣненіи бассейновъ-водохранилищъ на каналѣ отъ l'Elbe къ la Trave съ цѣлью сдѣлать по возможности одинаковымъ расходъ воды въ семи шлюзахъ, въ которыхъ высоты паденій очень различны. Такъ какъ примѣненіе сберегательныхъ бассейновъ сопровождается увеличеніемъ продолжительности наполненія шлюза, то этими бассейнами пользуются только лѣтомъ при недостаткѣ воды для питанія.

Добавимъ еще здѣсь, что два шлюза на каналѣ отъ Dortmund'a къ Ems'у, именно шлюзъ de Münster и шлюзъ de Gleesen, высота паденія которыхъ доходила соотвѣтственно до 6,20 и 6,34 метра, также имѣютъ сберегательныя бассейны \*).

\*) Интересующихся специально вопросомъ о сберегательныхъ бассейнахъ отсылаемъ къ труду Инженера Н. П. Пузыревскаго «Устройство водныхъ путей при невыгодныхъ условіяхъ мѣстности и питанія 1907 г.».

Верхній бассейнъ.



Нижній бассейнъ.

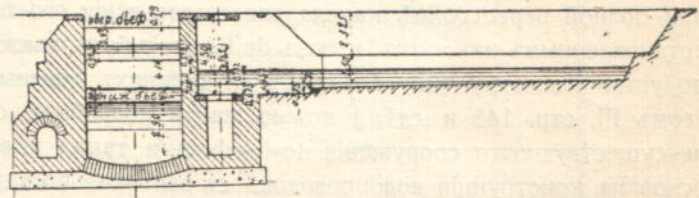


Рис. 69.



Ш л ю з ы.	Высота паденія въ метр.	Число сбере- гательныхъ бассейновъ.	Площадь каждаго бассейна, взятаго от- дѣльно въ кв. метр.	Высота паденія, уменьшенная соотвѣтственно пользованію бассейномъ въ метр.
de Bussau . . . . .	1,65 <sup>1)</sup>	—	—	—
de Crumesse . . . . .	2,75	1	2.800	1,73
de Berkenthin . . . . .	1,75	—	—	—
de Behlendorf . . . . .	1,65	—	—	—
Donner . . . . .	отъ 4,18 до 3,68	2	2.800	отъ 1,69 до 1,88
de Witzeze . . . . .	отъ 3,28 до 2,48	2	2.730	отъ 1,24 до 1,44
de Lauenbourg . . . . .	3,89 <sup>2)</sup>	3	2.280	отъ 1,54 до 2,12

Другіе способы уменьшенія расхода воды въ шлюзахъ. Для экономіи воды при маневрированіи въ шлюзахъ пытались также примѣнить водопроводы съ вертикально колеблющимся столбомъ воды; принципъ этой конструкции былъ изученъ маркизомъ de Caligny уже въ 1833 г. Шлюзъ de l'Aubois, на боковомъ каналѣ Луары, въ департаментѣ du Cher, былъ устроенъ въ 1868 г. по системѣ de Caligny. Однако эта конструкция никогда не дѣйствовала съ исправностью и уже въ 1886 г. перестала совершенно функционировать. Въ 1894 г. при полной перестройкѣ канала для согласованія его размѣровъ съ габаритомъ, установленнымъ закономъ, шлюзъ de l'Aubois былъ также разрушенъ и построенъ по установленному типу. Въ курсѣ внутреннихъ водяныхъ сообщеній de Lagrené (томъ III, стр. 145 и слѣд.) можно найти подробное описаніе этого, нынѣ уже не существующаго сооруженія de l'Aubois, а также изложеніе теоріи, на которой основана конструкция водопроводовъ съ вертикально качающимся столбомъ воды. Мы скажемъ здѣсь только, что функціонированіе шлюза de l'Aubois связано съ примѣненіемъ высокихъ цилиндрическихъ затворовъ, изобрѣтателемъ которыхъ повидимому является de Caligny.

Укажемъ еще на поплавокъ Bethancourt'a. Этотъ поплавокъ можетъ вертикально перемѣщаться въ бассейнѣ, смежномъ съ камерой, подобно сберегательному бассейну, но находящемся съ ней въ постоянномъ сообщеніи. Размѣры и взаимныя положенія бассейна и поплавка таковы, что, когда послѣдній вполнѣ погруженъ въ бассейнъ, вода въ камерѣ поднимается до горизонта воды въ верхнемъ бьефѣ и, напротивъ, опускается до горизонта нижняго бьефа, когда поплавокъ достаточно выплываетъ изъ воды. Благодаря такой конструкціи устраняется всякое расходование воды. Въ курсѣ внутреннихъ водяныхъ сообщеній Guillemain'a (томъ II, стр. 244 и слѣд.) даны подробныя поясненія относительно этого принципа, который не получилъ до сихъ поръ практическаго осуществленія.

Идея шлюза, функціонирующаго совершенно безъ расходованія воды, была предметомъ многихъ проектовъ. На IX-ый Международный Конгрессъ по судо-

<sup>1)</sup> Нормальная высота измѣняется отъ 0,00 до 3,15 метр.

<sup>2)</sup> Нормальная высота измѣняется отъ 0,00 до 5,81 метр.







леблется въ очень широкихъ предѣлахъ и, вполне естественно, зависитъ отъ ширины и паденія шлюза, особенно-же отъ проницаемости полотень и плотности ихъ соприкасанія между собой и съ кладкой. Поэтому, конструкція воротъ и точность ихъ установки имѣютъ здѣсь первенствующее вліяніе.

Легко понять, какъ трудно опредѣлить величину утечекъ. Если для шлюза шириною въ 5,20 метра мы, на основаніи опытныхъ данныхъ, даемъ цифру въ 1000 куб. мет. въ сутки, то это лишь для того, чтобы дать приблизительное представленіе о величинѣ утечекъ черезъ ворота.

Но можетъ быть читатель спроситъ, почему мы рассматриваемъ утечки черезъ шлюзные ворота въ отдѣлѣ о полезномъ расходованіи. Такое разсмотрѣніе основано на слѣдующихъ обстоятельствахъ. Во первыхъ, утечки эти являются слѣдствіемъ конструкціи и функціонированія шлюзовъ; во вторыхъ, вода, просачивающаяся черезъ ворота, не есть потерянное количество, или точнѣе говоря, его можно считать потеряннымъ только въ послѣднемъ шлюзѣ всего канала, или каждой части его, которая питается самостоятельно. Въ самомъ дѣлѣ, объемъ воды, который утекаетъ въ какомъ-нибудь шлюзѣ, (если только это не послѣдній шлюзъ) будетъ утилизированъ или въ слѣдующихъ шлюзахъ, или въ самомъ каналѣ; и даже въ томъ случаѣ, когда ни одно судно не пропускается черезъ шлюзы, необходимо путемъ маневрированія воротами, или посредствомъ особенныхъ приспособленій, пропускать сверху внизъ значительныя количества воды для того, чтобы возмѣстить потери, о которыхъ мы будемъ говорить ниже.

Вотъ почему утечкамъ черезъ шлюзные ворота не придають обыкновенно большого значенія и не стараются ихъ уменьшить. Что касается плотности соприкасанія полотень между собой и кладкой, то примѣненіе каучука по всей вѣроятности сдѣлало бы ворота менѣе водопроницаемыми, однако едва ли можно надѣяться, что достигнутые результаты будутъ соответствовать затратамъ.

Потери вслѣдствіе испаренія. — Потери вслѣдствіе испаренія мѣняются въ зависимости отъ температуры, влажности воздуха, количества выпадающихъ дождей, силы вѣтра или, короче говоря, отъ климата и времени года.

Въ дѣйствительности необходимо различать абсолютное испареніе и потерю отъ испаренія; послѣдняя представляетъ собой только излишекъ абсолютнаго испаренія надъ количествомъ выпавшихъ дождей; но въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ, если рассматривать годичный періодъ, этотъ излишекъ становится отрицательнымъ; вмѣсто потери получается прибыль. Приводимъ, на примѣръ, для трехъ наблюдательныхъ станцій <sup>1)</sup>, устроенныхъ на каналѣ Nivernais, годовую величину абсолютнаго испаренія (среднюю за пять лѣтъ 1891—1895), толщину слоя выпавшихъ дождей и потерю отъ испаренія.

<sup>1)</sup> Способъ наблюденія здѣсь очень простъ. Представимъ себѣ вполне непроницаемый бассейнъ, содержащій воду, поверхность которой свободно соприкасается съ атмосферой. Горизонтъ воды долженъ понижаться вслѣдствіе испаренія; напротивъ онъ долженъ подниматься при выпаденіи атмосферныхъ осадковъ, въ видѣ дождя или росы. Измѣненія горизонта, отмѣчаемые по рейкѣ, представляютъ собой ничто иное, какъ положительныя или отрицательныя разности между толщиной испарившагося слоя воды и высотой слоя атмосферныхъ осадковъ. Послѣдняя величина отмѣчается плювиометромъ, поэтому легко найти и первую (т. е. толщину испарившагося слоя).



Название станци.	Абсолютное испарение.	Высота выпавших осадков.	Потеря вслѣдствие испарения.
Decize . . . . .	0.920 метр.	0.763 метр.	0.157 метр.
La Collancelle . .	0.488 »	0.757 »	— 0.269 »
Clamecy. . . . .	0.622 »	0.691 »	— 0.069 »

Наблюдательная станція устроена также у резервуара des Settons. Въ 1894 г. абсолютное испарение равнялось 0.769 метр.; высота выпавшаго слоя атмосферныхъ осадковъ 1.410 метр.; слѣдовательно прибыль достигла здѣсь 0.641 метр.

Слѣдуетъ однако замѣтить, что въ интересующемъ насъ вопросѣ среднія годовыя величины не имѣютъ особеннаго значенія. Питаніе канала является особенно важнымъ и вмѣстѣ съ тѣмъ труднымъ въ жаркое время года въ періодъ засухъ, и тогда безъ сомнѣнія слѣдуетъ принять въ расчетъ абсолютное испарение на ряду съ другими потерями.

Величина его колеблется, какъ мы указывали уже выше, въ широкихъ предѣлахъ. Для сѣвера Россіи его можно принять въ 4 мм. въ сутки, а для юга около 6 мм.

Потери вслѣдствіе фильтрацій и всасыванія. — Гораздо важнѣе потери вслѣдствіе фильтрацій и всасыванія. Само собой разумѣется, что мы имѣемъ въ виду не видимыя потери черезъ трещины въ стѣнкахъ русла, такъ какъ всюду, гдѣ онѣ только проявляются, необходимо принять мѣры къ ихъ немедленному устраненію. Если почему либо временно нельзя устранить этихъ потерь, ихъ слѣдуетъ измѣрить и такимъ путемъ непосредственно опредѣлить, насколько онѣ затрудняютъ цитаніе.

Потери черезъ фильтраціи и всасываніе, о которыхъ мы здѣсь говоримъ, не могутъ быть видимы простымъ глазамъ; онѣ измѣняются въ очень широкихъ предѣлахъ въ зависимости отъ свойства грунта, въ которомъ прорытъ каналъ. Климатъ и время года, подъ вліяніемъ которыхъ происходитъ болѣе или менѣе сильное высыханіе почвы, также могутъ имѣть нѣкоторое вліяніе. Вообще эти потери уменьшаются со временемъ, по мѣрѣ заиленія русла канала; онѣ могутъ быть кромѣ того значительно уменьшены примѣненіемъ специальныхъ мѣръ, о которыхъ мы будемъ говорить ниже.

Такъ, на примѣръ, на каналѣ de la Haute-Marne средняя потеря на погонный метръ въ день, въ концѣ апрѣля или въ началѣ мая равнялась:

въ 1891 г. . . . .	2.730 куб. метр.
» 1892 г. . . . .	2.390 » »
» 1893 г. . . . .	2.310 » »
» 1894 г. . . . .	2.060 » »
» 1895 г. . . . .	1.670 » »

На каналѣ отъ Марны къ Сонѣ бьефъ de Brethenay, который вначалѣ терялъ до 105 куб. метр. на пог. метр. въ день, въ 1895 г. терялъ всего лишь не болѣе 13.5 куб. метр. Безполезно приводить больше примѣровъ и собирать цифры, соотвѣтствующія частнымъ случаямъ; мы полагаемъ, что съ практической точки зрѣнія слѣдуетъ ставить вопросъ слѣдующимъ образомъ: въ какой сте-



пени можно уменьшить среднюю потерю въ каналѣ, служащемъ уже довольно много лѣтъ, послѣ выполненія по мѣрѣ надобности спеціальныхъ мѣръ противъ фильтраціи?

Мы полагаемъ, что для каналовъ при прочихъ равныхъ условіяхъ потери вслѣдствіе фильтрацій и всасыванія возрастаютъ съ увеличеніемъ размѣровъ канала; это очевидно. Если возрастаетъ одна лишь ширина по дну, а глубина остается неизмѣнной, то потери возрастаютъ медленнѣе ширины, такъ какъ потери на боковыхъ стѣнкахъ остаются при этомъ неизмѣнными.

Напротивъ, эти потери быстро возрастаютъ съ увеличеніемъ глубины. На каналѣ отъ Марны къ Рейну вблизи новой границы были сдѣланы опыты для болѣе точнаго опредѣленія этой зависимости. Опыты производились двумя различными способами по обѣимъ сторонамъ границы. Французскіе инженеры опредѣлили количество воды, пропускаемое черезъ шлюзные ворота для поддержанія горизонта воды въ бьефахъ на постоянной высотѣ. Съ своей стороны, нѣмецкіе инженеры измѣряли пониженіе горизонта въ бьефахъ, предоставленныхъ самимъ себѣ и вычислили необходимый геометрическій объемъ для приведенія бьефовъ къ ихъ первоначальной высотѣ.

Обѣ серіи опытовъ дали согласные между собой результаты. Было найдено, что при переходѣ отъ глубины въ 1.60 метра (въ дѣйствительности доходившей до 1.40 метра вслѣдствіе наноснаго ила) къ глубинѣ въ 2 метра потери вслѣдствіе фильтраціи удвоились. Для оцѣнки этого результата не слѣдуетъ упускать изъ вида, что въ первомъ случаѣ дно было илистое, тогда какъ во второмъ оно было очищено отъ ила. Последнее обстоятельство могло, конечно, сильно повліять на усиленіе фильтраціи.

Здѣсь не лишнее будетъ упомянуть о расходѣ на питаніе канала въ тѣхъ случаяхъ, когда во всѣхъ бьефахъ, или только въ ихъ части, спускается вода на время перерыва судоходства. Значительная часть заимствуемой въ этомъ случаѣ воды поглощается почвой, высохшей вслѣдствіе непосредственного соприкосновенія съ воздухомъ.

Для каналовъ, размѣры которыхъ тождественны съ установленными закономъ во Франціи, вмѣстимость русла равна 26 куб. метр. на погон. метръ или 26.000 на километръ; но обыкновенно размѣры нѣсколько превышаютъ нормальные, такъ что слѣдуетъ считать вмѣстимость въ 30.000 — 35.000 куб. метр. на километръ.

Послѣ общаго перерыва судоходства на болѣе или менѣе продолжительный періодъ времени, напримѣръ на мѣсяцъ, слѣдуетъ брать для наполненія русла объемъ вдвое болѣе противъ указаннаго выше, исключая, конечно, тотъ случай, когда русло укрѣплено кладкой.

Потери вслѣдствіе неправильныхъ маневровъ. Такъ называютъ потери, которыя происходятъ вслѣдствіе различныхъ обстоятельствъ, когда горизонтъ воды въ бьефѣ поднимается выше нормальнаго, отчего нѣкоторое количество воды переливается черезъ водосливы и такимъ путемъ теряется для канала.

Всѣ бьефы не имѣютъ самостоятельнаго питанія; напротивъ, большинство изъ нихъ заимствуютъ воду въ выше лежащемъ бьефѣ, и сторожа при шлюзахъ получаютъ инструкцію немного открывать затворъ въ шлюзѣ, какъ только они



замѣтятъ, что горизонтъ воды въ нижнемъ бьефѣ понижается; такимъ путемъ нижній бьефъ приводится къ нормальному уровню насчетъ верхняго. Сторожъ вышележащаго шлюза дѣлаетъ тогда то же самое и такимъ путемъ заимствование распространяется отъ бьефа къ бьефу до питающихъ каналъ водохранилищъ.

Однако не всѣ бьефы имѣютъ одинаковую длину и не всѣ въ одинаковой степени подвергаются вліянію истечения черезъ отверстія затворовъ. Съ другой стороны, быстро начинаемый и быстро прекращаемый выпускъ воды при работѣ шлюза вызываетъ волненіе въ бьефѣ и слѣдовательно колебаніе уровня у рейки, которое можетъ ввести въ заблужденіе сторожа при шлюзѣ, и часто случается, что послѣдній выпускаетъ въ нижній бьефъ больше воды чѣмъ нужно. Избытокъ переливается черезъ водосливы и представляетъ потерю для канала. Если изъ двухъ конечныхъ шлюзовъ даннаго бьефа верхній шлюзъ имѣетъ болѣе значительное паденіе чѣмъ нижній или подвергается болѣе частымъ маневрированіямъ,

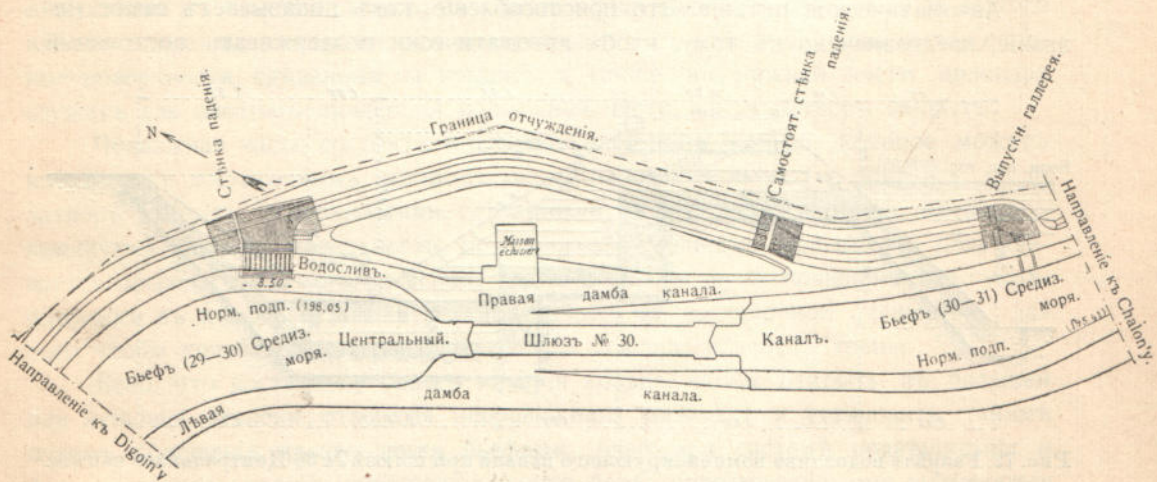


Рис. 71. Компенсирующій боковой каналъ при шлюзѣ № 30 Центрального канала.—  
Общій планъ.

чѣмъ послѣдній, то можетъ легко случиться, что горизонтъ поднимется выше нормальнаго, что и вызоветъ потерю вслѣдствіе истечения черезъ водосливъ.

Понятно, что довольно трудно вычислить потери подобнаго рода. Уже давно М. Сомоу допускалъ для всего канала du Centre длиною 116 километровъ ежедневную потерю въ 4000 метр.<sup>3</sup> что даетъ 34 куб. метр. на одинъ километръ въ день, и хотя эта величина и не представляется значительной, но слѣдуетъ по возможности уменьшать эти потери. Выборъ личнаго состава служащихъ и ихъ бдительность могутъ въ значительной мѣрѣ способствовать уменьшенію потерь, но этого можно достигнуть также примѣненіемъ нѣкоторыхъ конструкцій, о которыхъ слѣдуетъ мимоходомъ сказать нѣсколько словъ.

Компенсирующіе боковые каналы.—Принципъ этихъ сооружений очень простъ. вмѣсто того чтобы выпускать излишекъ воды черезъ водосливъ въ естественный водный потокъ, устраиваютъ сбоку канала еще другой каналъ, въ который и отводятъ избытокъ воды, выпуская его въ тѣ бьефы, въ которыхъ горизонтъ воды ниже нормальнаго.

Каналъ, огибающій шлюзъ и начинающійся въ верхнемъ бьефѣ водосливомъ,







бьефа, переливающейся черезъ порогъ, сдѣланный въ нормальномъ уровнѣ. Въ боковыхъ стѣнкахъ въ нижней части резервуара сдѣланъ рядъ отверстій для выпуска воды, входящей въ него изъ верхняго бьефа, такъ что, когда послѣдній приходитъ къ своему нормальному положенію, вода вытекаетъ изъ резервуара, и поплавокъ поднимается закрывая затворъ.

Затворъ, составляющій существенную часть аппарата, принадлежитъ къ типу цилиндрическихъ затворовъ съ горизонтальнымъ движеніемъ; онъ располагается у входнаго конца водопроводной трубы, помѣщаемого въ обратной стѣнкѣ верхней головы шлюза (рис. 73); неподвижная часть затвора прикрѣпляется болтами къ стѣнѣ, а подвижная часть, будучи соединена съ поплавкомъ, можетъ двигаться подобно маятнику, то закрывая отверстіе затвора, то, напротивъ, открывая его.

Неподвижная часть состоитъ изъ цилиндрическаго тѣла съ двумя широкими отверстіями въ боковой стѣнкѣ, съ одного конца цилиндръ закрытъ, а съ другого имѣетъ закраины, которыми онъ прикрѣпляется къ стѣнѣ. Двѣ коническія опорныя поверхности, сдѣланныя на крышкѣ, а также въ нижней части цилиндра служатъ для плотнаго прилеганія подвижной части, когда затворъ закрытъ.

Подвижная часть состоитъ изъ цилиндрическаго кольца, которое можетъ качаться съ достаточнымъ зазоромъ около неподвижной части, опираясь, когда затворъ закрытъ, поверхностями, сдѣланными съ внутренней стороны, на вышеупомянутыя такія-же поверхности неподвижнаго цилиндра. Кольцо это подвѣшивается посредствомъ металлическаго треугольника на двухъ подшипникахъ, укрѣпленныхъ въ кладкѣ стѣны и установленныхъ съ достаточной точностью, для того чтобы колебательныя движенія кольца совершались безъ тренія.

Ясно, что достаточно одного качанія кольца, чтобы открыть въ большей или меньшей степени отверстія неподвижнаго цилиндра и установить такимъ путемъ сообщеніе между двумя бьефами; благодаря системѣ подвѣшивания и формѣ затвора качанія происходятъ почти безъ сопротивленія; они вызываются движеніемъ поплавка слѣдующимъ образомъ.

Вдоль вы́соты треугольника, служащаго для подвѣшивания кольца, помѣщается желѣзный стержень, соединенный съ треугольникомъ въ нижней части; онъ охватываетъ ушкомъ въ средней своей части неподвижную ось, перпендикулярную къ плоскости качанія кольца, и связанъ въ верхней части, съ горизонтальной тягой, передающей движеніе поплавка. Каждый такой питающій аппаратъ можетъ расходовать 40,000 куб. метр. ежедневно и обходится въ 1.150 франковъ, считая всю конструцію.

Результаты, достигнутые такимъ путемъ, оказались вполне удовлетворительными; устраненіе колебаній горизонтовъ въ бьефахъ и въ особенности, неправильныхъ маневровъ, связанныхъ съ ними, имѣетъ своимъ слѣдствіемъ значительную экономію воды для питанія.

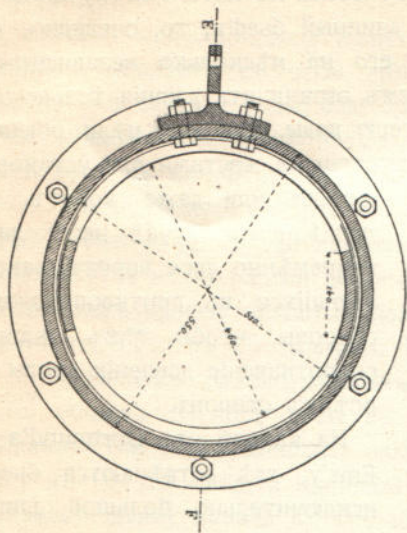
Случайныя потери.—Эти потери являются результатомъ различныхъ случаевъ, вызывающихъ опорожненіе бьефа, какъ напримѣръ прорывъ запруды или необходимость исправленія канала въ случаѣ аварии подводной части сооруженія и проч... Исправное содержаніе и умѣлая эксплуатація канала дѣлаютъ эти потери очень рѣдкими; что же касается ихъ величины, то это вопросъ вполне частнаго характера. Не слѣдуетъ терять изъ вида, что потери черезъ



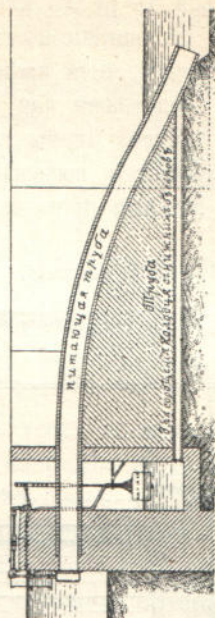




Поперечный разрьъзъ по GH.



Общее расположение сооруженія (1/150).



Фасадъ щита (1/20).

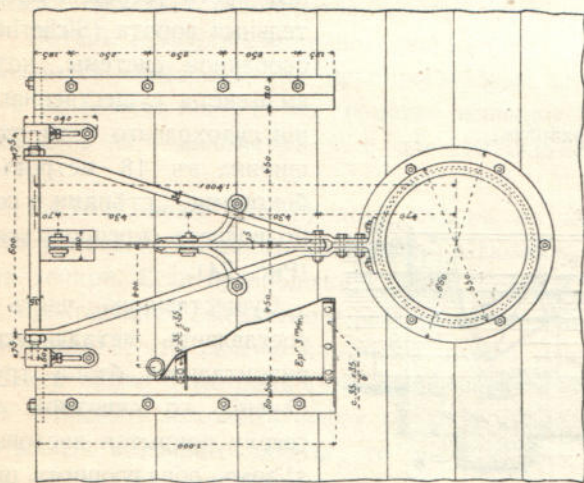
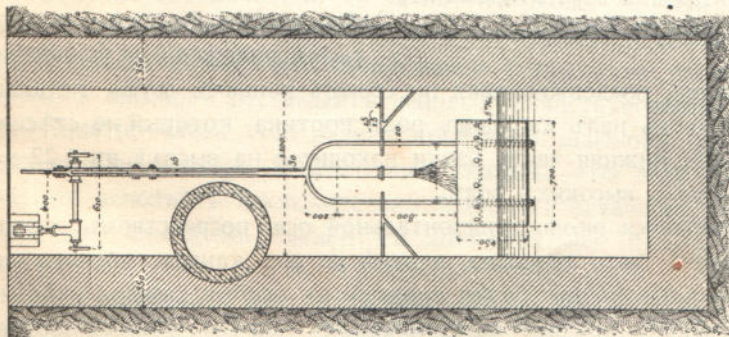


Рис. 73.

Разрьъзъ по CD.





могущія образоваться въ руслѣ канала трещины, о которыхъ мы уже упоминали выше, могутъ быть съ одинаковымъ правомъ отнесены къ категоріи случайныхъ.

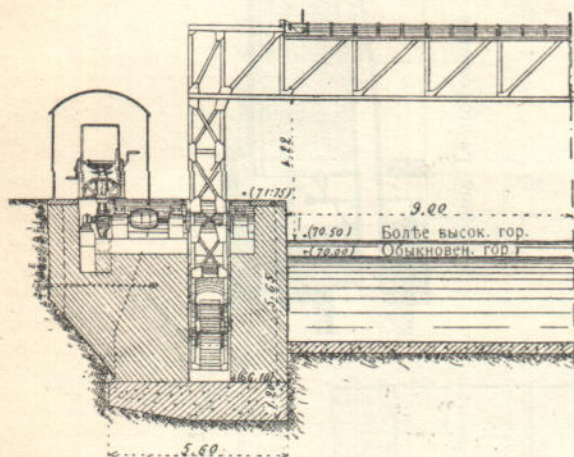
Во всякомъ случаѣ, если имѣется очень длинный бьефъ, то, очевидно, выгодно располагать средствами для раздѣленія его на нѣсколько независимыхъ другъ отъ друга частей, чтобы такимъ путемъ ограничить вліянія только что упомянутыхъ случайностей, вызывающихъ потерю воды. Для этой цѣли обыкновенно пользуются узкими проходами подъ нѣкоторыми мостами для установки

щитовъ или даже воротъ. Въ послѣднемъ случаѣ необходимо непременно двое воротъ, закрывающихся въ противоположныя стороны, чтобы тѣмъ оказать сопротивление давленію воды съ обѣихъ сторонъ.

На каналѣ отъ Dortmund'a къ Ems'y, гдѣ встрѣчаются бьефы исключительно большой длины, нѣмецкіе инженеры для возможности дѣленія бьефа на отдѣльныя части устроили предохранительныя ворота (Sicherheitsthore) особенной системы, которая не вызываетъ существеннаго суженія судоходнаго пути, такъ какъ ширина въ 18 метровъ между боковыми стѣнами соруженія позволяетъ скрещиваться судамъ. (Рис. 74).

Существенную часть воротъ составляетъ металлическая горизонтальная балка трубчатого сѣченія со сквозной стѣнкой, сверху покрытая листовымъ желѣзомъ, образующимъ цилиндрической сводъ съ горизонтальной образующей. Когда ворота подняты (см. положеніе на поперечиномъ

Поперечный разрѣзъ.



Продольный разрѣзъ.

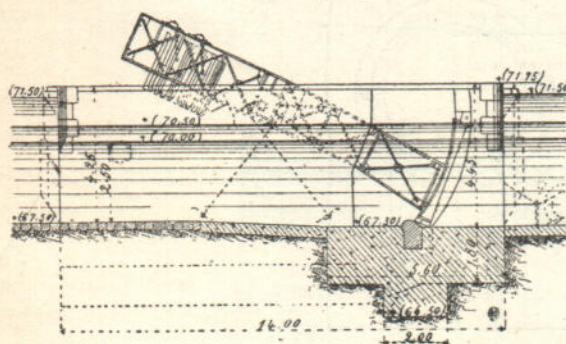


Рис. 74. Предохранительныя ворота канала отъ Dortmund'a къ Ems'y.

разрѣзѣ рис. 74), балка, поддерживаемая по своимъ концамъ двумя металлическими столбами, образуетъ надъ каналомъ родъ портика, который не стѣсняетъ судоходства, такъ какъ нижняя часть балки находится на высотѣ въ 4,22 метр. надъ горизонтомъ самыхъ высокихъ водъ.

Вся система вращается около горизонтальной оси; посредствомъ поворота около нея балка можетъ быть опущена вполнѣ до дна канала, образуя перегородку, между тѣмъ какъ концы балки входятъ въ особыя камеры, сдѣланныя въ боковыхъ стѣнкахъ, какъ показано на продольномъ разрѣзѣ. Такимъ образомъ, желѣзное покрытіе, верхній край котораго въ показанномъ положеніи подни-



мается надъ уровнемъ воды, раздѣляетъ проходъ въ данномъ мѣстѣ на двѣ части.

Такъ какъ покрытие имѣетъ форму цилиндрической поверхности, ось которой совпадаетъ съ осью вращенія системы, то ясно, что на эту ось передается все давленіе воды; благодаря такой конструкціи движеніе воротъ возможно при всякомъ состояніи воды, даже при возникновеніи теченія, и не зависитъ отъ того, съ какой стороны направлено давленіе.

Мы не будемъ входить въ подробности относительно механизма и противовѣса, облегчающихъ это маневрированіе. Скажемъ только, что движеніе воротъ управляется нѣсколькими системами зубчатыхъ зацепленій, изъ которыхъ одна позволяетъ одному человѣку поднять ворота, а другая опустить ихъ въ случаѣ необходимости въ  $2\frac{1}{2}$  минуты.

Пользуясь разсмотрѣнными данными, легко составимъ себѣ представленіе объ общемъ расходѣ воды въ каналахъ наиболѣе распространеннаго типа во Франціи (не установленнаго закономъ) съ глубиной въ 2,20 метр., шириной по дну въ 10—12 метр. и шириной въ горизонтѣ воды въ 18—20 метр. Мы будемъ полагать длину канала въ 100 километровъ.

Нормальный расходъ, т. е. исключая случайныя потери и количество воды, необходимое для возстановленія нормальнаго горизонта на протяженіи всего канала послѣ перерыва судоходства, составляется изъ слѣдующихъ элементовъ:

1<sup>0</sup> Потери вслѣдствіе испаренія, фильтрацій и всасыванія, а также вслѣдствіе неправильныхъ маневровъ; онѣ пропорціональны длинѣ, и можно, при вышеуказанныхъ условіяхъ, принять въ среднемъ величину этихъ потерь въ 1000 кубич. метр. въ день на 1 километръ, т. е. для 100 километровъ будемъ имѣть 100.000 куб. метр.

2<sup>0</sup> Расходъ воды для прохода судовъ въ конечномъ шлюзѣ, въ случаѣ бокового канала, и въ двухъ конечныхъ шлюзахъ, въ случаѣ канала съ раздѣльной точкой. Если предположить, какъ было сдѣлано выше, что среднее число судовъ, проходящихъ ежедневно черезъ шлюзъ, равно 17 (считая въ обѣ стороны), допустить далѣе, что паденіе конечнаго шлюза или двухъ конечныхъ шлюзовъ составляетъ около 3 метровъ (что представляетъ собою вполнѣ нормальную величину) и принять наконецъ цифру въ 1000 кубич. метр. въ день для утечекъ черезъ ворота конечнаго шлюза, то мы найдемъ, что ежедневный полезный расходъ составляетъ 13.000 куб. метр. въ одномъ случаѣ и 26.000 куб. метр. въ другомъ случаѣ, что составляетъ около  $\frac{1}{8}$  или  $\frac{1}{4}$  величины потерь (100.000 куб. метр.). Этими выводами оправдывается сдѣланное выше замѣчаніе, что, исключая случая очень интенсивнаго судоходства, расходъ воды для функционированія шлюзовъ составляетъ небольшую часть полного расхода.

Понятно также, что паденіе конечныхъ шлюзовъ желательно дѣлать по возможности меньше. Можно даже сказать, что если въ каналѣ необходимо устроить шлюзъ съ исключительно большимъ паденіемъ, то не слѣдуетъ располагать его слишкомъ близко къ концу канала. Поясимъ это на числовомъ примѣрѣ.

Предположимъ, какъ и раньше, что конечный шлюзъ имѣетъ паденіе въ 3 метра и, пропуская ежедневно 17 судовъ, расходуетъ 12.000 куб. метр. въ день. Пусть въ верхней части канала находится шлюзъ съ паденіемъ въ 5,20 метра,



который расходуетъ для каждаго наполненія камеры 1.200 куб. метр., или для прохода 17 судовъ 20.400 куб. метр. Слѣдовательно, шлюзъ съ паденіемъ въ 5,20 метра расходуетъ въ день на 8.400 куб. метр. воды болѣе, чѣмъ конечный шлюзъ. Это число соотвѣтствуетъ потерямъ вслѣдствіе испаренія, фильтраціи и проч. на длинѣ канала въ 8,4 километр. Поэтому, если шлюзъ съ паденіемъ въ 5,20 метр. отстоитъ отъ конечнаго шлюза. болѣе чѣмъ на 8,4 километра, то можно считать, что не будетъ дополнительныхъ потерь, происходящихъ отъ разности паденій обоихъ шлюзовъ; напротивъ, если разстояніе меньше 8,4 километр., то будетъ имѣть мѣсто дополнительный расходъ, который и слѣдуетъ принять въ расчетъ.

Предосторожности при исполненіи земляныхъ работъ.— Въ началѣ этой главы, говоря о расходѣ воды въ шлюзахъ, мы одновременно указывали на различные способы уменьшенія этого расхода. Въ дальнѣйшемъ изложеніи, разсматривая потери вслѣдствіе неправильныхъ маневровъ, мы не только указывали на важность этихъ потерь, но вмѣстѣ съ тѣмъ разсмотрѣли также различные способы, примѣняемые для ихъ уменьшенія. Но потери отъ фильтрацій и всасыванія составляютъ наиболѣе существенную часть общаго расхода въ каналахъ.

Поэтому, въ высшей степени важно какъ можно больше уменьшить эти потери, и съ этой цѣлью въ самомъ началѣ сооруженія канала при возведеніи земляныхъ работъ примѣняются различныя мѣры предосторожности.

При сооруженіи обыкновенныхъ и желѣзныхъ дорогъ важно, чтобы насыпи и выемки отличались устойчивостью; при постройкѣ канала необходимо кромѣ соблюденія этого условія еще позаботиться о непроницаемости русла канала. Для обыкновенныхъ и желѣзныхъ дорогъ стараются по возможности достигнуть равенства выемокъ и насыпей. Для канала это условіе отступаетъ на второй планъ; въ этомъ случаѣ стремятся прежде всего устроить русло въ непроницаемомъ для воды грунтѣ, а также стараются помѣстить, по крайней мѣрѣ, дно канала въ выемкѣ. Экономія при постройкѣ, связанная съ увеличеніемъ расхода воды на питаніе, не находитъ здѣсь оправданія. Необходимо принимать мѣры противъ фильтрацій еще и по другимъ соображеніямъ. Вода, проникая въ стѣнки русла, можетъ вызвать ихъ прорывъ и обвалъ, а это можетъ имѣть послѣдствіемъ не только перерывъ въ судоходствѣ, но и громадный вредъ для прибрежныхъ жителей.

Вотъ съ этихъ двухъ точекъ зрѣнія мы и разсмотримъ вопросъ о предохранительныхъ мѣрахъ при сооруженіи земляныхъ работъ въ каналахъ. Едва ли слѣдуетъ здѣсь добавлять, что трудности возрастаютъ съ увеличеніемъ глубины выемокъ или высоты насыпей.

Выемки въ плотномъ грунтѣ.—Если выемки дѣлаются въ плотномъ грунтѣ, хорошо сопротивляющемся вреднымъ атмосфернымъ вліяніямъ, то при постройкѣ канала руководятся тѣми же приемами, что и при сооруженіи всякихъ другихъ путей сообщенія, и намъ остается здѣсь сказать только объ одномъ случаѣ, когда выемка разрабатывается въ скалистомъ грунтѣ съ трещинами.

Здѣсь почти всегда бываетъ выгодно въ самомъ началѣ укрѣпить русло каменной кладкой и такимъ путемъ на будущее время избавиться отъ дорогихъ



и трудныхъ работъ по достиженію водонепроницаемости. Если укрѣпленіе кладкой не дѣлается первоначально, то слѣдуетъ по крайней мѣрѣ выполнить выемку русла съ достаточнымъ уширеніемъ, что потребуетъ лишь небольшихъ дополнительныхъ расходовъ, тогда какъ позднѣйшее уширеніе обходится значительно дороже.

Крутизну откосовъ выемокъ въ плотныхъ грунтахъ берутъ такую-же, какъ и въ желѣзнодорожныхъ выемкахъ; внѣ русла откосы также укрѣпляются; мы не будемъ долѣе останавливаться на этомъ предметѣ.

Выемки въ глинистомъ грунтѣ.—Въ тѣхъ случаяхъ, когда выемки дѣлаются въ глинистыхъ грунтахъ, постоянное скопленіе воды у подошвы откоса является наибольшимъ затрудненіемъ, и слѣдуетъ принять самыя тщательныя мѣры, чтобы откосы выше банкетовъ не могли сползать и въ особенности увлекать въ этомъ движеніи самое русло канала.

Первое, что необходимо сдѣлать, это отвести посредствомъ продольныхъ канавъ всѣ воды, могущія просачиваться черезъ почву по сосѣдству съ откосами, ихъ размягчить и вызвать сползаніе. Однако, необходимо кромѣ того обезпечить стокъ этой воды къ пониженнымъ точкамъ, такъ какъ застаиваніе можетъ вызвать сползаніе массъ земли, простирающееся до откосовъ и представить такимъ путемъ серьезную опасность.

Съ этой цѣлью, какъ мы уже указывали раньше, прежде всего назначаютъ продольный профиль канавъ такъ, чтобы вполне обезпечить стокъ воды; затѣмъ слѣдуетъ всегда заботиться объ исправномъ содержаніи этихъ канавъ, предотвращая возможность всякаго застоя. Иногда бываетъ полезно въ особенно плохихъ грунтахъ укрѣпить канавы бетономъ или каменной кладкой, достигая такимъ путемъ ихъ полной непроницаемости; правда, такое укрѣпленіе обходится довольно дорого, но въ случаѣ необходимости не слѣдуетъ останавливаться передъ такимъ дѣйствительнымъ средствомъ защиты.

Далѣе, необходимо несмотря на возрастаніе расходовъ сдѣлать широкіе бичевники на обоихъ берегахъ для того, чтобы сдвиги, могущіе возникнуть, происходили надъ русломъ и не препятствовали судоходству; необходимо имѣть здѣсь ширину не менѣе 4—5 метровъ, хотя бы для этого пришлось примѣненіемъ мощенія и подпорныхъ стѣнъ увеличить естественную крутизну откосовъ.

Въ случаѣ откосовъ въ выемкѣ просачивающіяся почвенныя воды должны быть предметомъ самаго тщательнаго изслѣдованія. слѣдуетъ какъ можно дальше проникнуть въ глубь откоса къ истокамъ филтрацій, насколько это можно сдѣлать безъ сползовъ, и обезпечить выходъ воды черезъ почву вдоль откоса къ руслу канала, устраивая во всей выемкѣ тщательный дренажъ. Всюду, гдѣ замѣтно присутствіе сырости, дѣлаютъ каменный дренажъ или дренажную подземную канаву; если болѣе надежный слой грунта располагается недалеко отъ откоса, то дренажъ ведутъ за предѣлы глинистаго грунта; короче говоря, необходимо обратить особенное вниманіе на то, чтобы нигдѣ вода не могла оказаться въ замкнутомъ состояніи и, размягчая глину, вызвать этимъ сползы ея, которые, разъ возникнувъ, требуютъ большого труда для ихъ прекращенія.

Это осушеніе откосовъ должно быть выполнено съ тѣмъ большей тщательностью, чѣмъ ближе данное мѣсто къ бичевнику. Нѣкоторыя небольшія поверхностныя сползанія не представляютъ опасности, если они касаются только



верхней части откосовъ; напротивъ вредъ бываетъ весьма значителенъ, если бичевникъ также придетъ въ движеніе.

Поэтому, слѣдуетъ обратить вниманіе на то, чтобы участки, расположенные непосредственно надъ бичевникомъ были дренированы по возможности глубже. Дренажныя сооруженія должны кромѣ того имѣть достаточный уклонъ для свободного стока воды, и никакой застой не можетъ быть допущенъ на бермѣ бичевника, поперечный уклонъ котораго точно устанавливается и постоянно поддерживается въ исправности.

Вынутая изъ выемки земля складывается какъ можно дальше отъ верхнихъ бровокъ откосовъ, чтобы не ослаблять устойчивость послѣднихъ.

Таковы мѣры предосторожности, которыя слѣдуетъ принимать при сооруженіи выемокъ въ глинистомъ грунтѣ для предотвращенія сползаній откосовъ. Если онѣ выполнены въ сухой и теплый періодъ времени, если стокъ воды при посредствѣ сдѣланныхъ во всѣхъ необходимыхъ мѣстахъ дренажныхъ сооруженій вполне обезпеченъ, и если, наконецъ, откосы укрѣплены мощеніемъ, растеніями и дерномъ, то можно разсчитывать на успѣхъ сдѣланныхъ работъ.

Однако, несчастные случаи бываютъ такъ многочисленны, особенно, вслѣдствіе постоянного скопленія воды у подошвы откосовъ, что, слѣдуетъ по возможности всегда избѣгать большихъ глинистыхъ выемокъ.

Но не всегда можно слѣдовать этому указанію. Кромѣ того часто приходится укрѣплять уже существующія выемки, если нѣкоторыя признаки указываютъ на возможность движенія. Осушеніе вышеуказанными способами является первымъ средствомъ, которое слѣдуетъ примѣнить, такъ какъ оно непосредственно дѣйствуетъ на причину и можетъ предотвратить возможность самаго сполза.

Что же касается сопротивленія сдвигу прямымъ путемъ, т. е. укрѣпленіемъ подошвы выемки, противопоставляя давленію сползающихъ массъ земли подпорную стѣнку, то это возможно сдѣлать только въ одномъ случаѣ, когда слой глины достаточно тонокъ, для того чтобы подпорная стѣна могла опираться своимъ основаніемъ на несжимаемые слои земли. Исключая этотъ частный случай, который встрѣчается далеко не всегда, устройство подпорныхъ стѣнъ для предупрежденія сполза глинистыхъ массъ не приноситъ никакой пользы, такъ какъ почва размягчается вокругъ самой стѣны, и происходитъ сползъ, причиняя еще больше затрудненій. Въ результатѣ, для предупрежденія сползовъ въ глинистой выемкѣ необходимо примѣнять тщательный дренажъ, углубляя его по возможности больше и удаляя отъ почвы всю воду, которую можно только собрать.

Исправленіе сползовъ въ глинистыхъ выемкахъ.—Когда сползъ уже произошелъ, и надо возстановить профиль канала, то примѣняются аналогичныя вышеописаннымъ работы. Въ этомъ случаѣ пересекаютъ сползшія массы земли многочисленными каменными дренажными канавами, заложенными на такой глубинѣ, на которой еще не произошло перемѣщенія слоевъ и обезпечиваютъ стокъ воды со всей поверхности скопленія специальными канавами, которыя осушаютъ размокшую массу глины. Разъ равновѣсіе возстановлено, можно возобновить прежній профиль (фиг. 75), замѣнивъ обвалившуюся землю и задѣлавъ трещины, возникающія обыкновенно при такомъ сползѣ.

Мѣры предосторожности при возведеніи насыпей.—Насыпи каналовъ



должны по возможности отличаться большой плотностью и хорошо связываться своимъ основаніемъ съ естественнымъ грунтомъ.

Для этого поверхность земли, на которой возводится насыпь, должна быть прежде всего тщательно расчищена. Деревья и кустарники, если они растутъ въ данномъ мѣстѣ, должны быть удалены съ корнями; трава вырвана, и вообще всякая растительность устранена. Для лучшей связи первыхъ слоевъ насыпной земли съ верхней частью естественнаго грунта полезно разрыхлить послѣдній путемъ вспашки.

При болѣе или менѣе значительныхъ уклонахъ естественнаго грунта слѣдуетъ разработать основаніе въ видѣ уступовъ горизонтальныхъ или лучше нормальныхъ къ поверхности земли для предупрежденія всякаго скольженія насыпанной земли.

Земля, выбрасываемая прямо лопатой или, если это требуется разстояніемъ, подвозимая въ тачкахъ, разрыхляется слоями толщиной въ 0,15—0,20 метр. и утрамбовывается трамбовками или катками, предварительно слегка смоченная для лучшей сжимаемости.

Если разстояніе слишкомъ велико для примѣненія тачекъ, то пользуются телѣжками (колымажки, грабарки), которыя двигаются на насыпи и, образуя своими колесами глубокія колеи, способствуютъ уплотненію и взаимной связи различныхъ слоевъ земли.

Въ прежнее время примѣненіе телѣжекъ была единственно распространеннымъ способомъ транспортировки земли, и употребленіе вагоновъ безусловно не допускалось. Однако вмѣстѣ съ видоизмѣненіемъ самаго матеріала работъ и этотъ послѣдній способъ получилъ мало-по-малу практическое распространение.



Рис. 75.

Тѣмъ не менѣе употребленіе вагоновъ должно допускаться при соблюденіи слѣдующихъ условій. Вагоны должны быть небольшихъ размѣровъ, выемки слѣдуетъ разрабатывать послѣдовательными слоями небольшой толщины и избѣгать возведенія насыпей сразу до полной высоты, какъ это часто примѣняется при сооруженіи желѣзныхъ дорогъ; чрезмѣрныя осадки и потери воды не соотвѣтствуютъ экономіи вслѣдствіе такого производства работъ.

Всѣ описанныя мѣры предосторожности должны быть соблюдены съ особенной тщательностью около искусственныхъ сооружений для полученія прочной связи земли съ кладкой, а также въ точкахъ перехода русла изъ выемки въ насыпь, гдѣ сильнѣе чѣмъ въ другихъ мѣстахъ проявляется различіе между насыпной землей и естественнымъ грунтомъ.

Особенныя мѣры предосторожности при возведеніи большихъ насыпей.—Большія насыпи для каналовъ еще опаснѣе большихъ выемокъ. Понятно, что хорошо сооруженная большая насыпь при достаточно плотномъ основаніи можетъ быть гарантирована отъ тѣхъ движеній, которыя проявляются, напримѣръ, въ глинистой выемкѣ; но, съ другой стороны, сколько времени необходимо для полной осадки насыпи? Какова будетъ потеря воды втеченіи этихъ



осадокъ? Можетъ ли быть достигнута непроницаемость, если многочисленныя фильтраціи способствуютъ сохраненію щелей. Мы имѣемъ здѣсь цѣлый рядъ обстоятельствъ, требующихъ принятія специальныхъ мѣръ предосторожности при сооруженіи такихъ большихъ насыпей.

Прежде всего здѣсь необходимо, чтобы поверхность земли, на которой возводится насыпь, отличалась достаточной плотностью для того, чтобы выдержать вѣсь насыпи. Если грунтъ имѣетъ эти качества, то слѣдуетъ ихъ сохранить посредствомъ тщательнаго стока естественныхъ водъ черезъ будущую насыпь къ ея нижней части.

Во вторыхъ, земля для насыпи должна быть соответствующихъ качествъ, т. е. представлять смѣсь песку съ глиной въ такой пропорціи, чтобы количество глины было достаточно для соединенія частицъ песка и не было настолько велико, чтобы масса земли была сжимаема.

Если нѣтъ земли, удовлетворяющей этому условію, то лучше примѣнить водонепроницаемый, но прочный матеріалъ, съ тѣмъ, чтобы впослѣдствіи достигнуть водонепроницаемости, чѣмъ пользоваться глиной для возведенія большой насыпи. Глинистыя насыпи труднѣе всего сдѣлать водонепроницаемыми, такъ какъ ихъ строеніе дѣлаетъ почти неизбѣжнымъ существованіе пустотъ внутри массы, и вмѣстѣ съ тѣмъ эти насыпи являются самыми неустойчивыми, такъ какъ внутри массы образуются плоскости скольженія, способствующія сдвигу подъ влияніемъ самой ничтожной причины.

Наконецъ, если въ распоряженіи имѣется одна лишь глинистая земля, и ею необходимо во что бы то ни стало воспользоваться, то слѣдуетъ по крайней мѣрѣ ограничиться примѣненіемъ ея къ насыпямъ небольшой высоты и усилить мѣры предосторожности. Необходимо отбросить въ сторону отъ насыпи ту землю, которая могла быть размыта и размочена дождемъ во время работъ, обезпечить отводъ воды, увеличить по мѣрѣ надобности пологость откосовъ и, въ особенности, уширить основаніе устройствомъ по высотѣ ряда бермъ.

Увеличеніе толщины насыпи образуетъ какъ бы контрфорсъ, являясь лучшимъ средствомъ противъ сползаній, въ особенности если эти подсыпки сдѣланы изъ болѣе устойчиваго матеріала.

Вообще надо имѣть въ виду, что осадки неизбѣжны, даже когда насыпь сдѣлана изъ хорошаго матеріала; онѣ не прекращаются въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ, поэтому, если при сооруженіи даннаго канала имѣются большія насыпи, то съ послѣднихъ и слѣдуетъ начинать работы.

Самымъ критическимъ моментомъ является моментъ наполненія канала водой, что должно быть выполнено съ медленностью и постепенностью, такъ какъ именно въ это время, главнымъ образомъ, образуются трещины и сползы въ откосахъ, которые до этого рѣшительнаго испытанія казались вполне надежными. Хорошимъ руководствомъ для изученія только что разсмотрѣнныхъ сложныхъ вопросовъ можетъ служить работа генеральнаго инспектора Graeff'a. *Histoire critique des travaux exécutés dans les Vosges au chemin de fer de Paris à Strasbourg et au canal de la Marne au Rhin.*

Работы по достиженію непроницаемости. — Несмотря на всѣ мѣры предосторожности, принимаемыя при сооруженіи канала, всегда надо ожидать, какъ это доказывается опытомъ, большого расхода воды, въ особен-



ности въ теченіе первыхъ лѣтъ эксплуатаціи. Питаніе канала представляетъ тогда очень большія трудности, вызывающія сильное стѣсненіе судоходства.

Можно стремиться уменьшить этотъ недостатокъ, стараясь увеличить средства питанія, и съ этой цѣлью увеличить количество воды, заимствуемое изъ естественныхъ водныхъ потоковъ, увеличить число водохранилищъ и т. п. Такое рѣшеніе задачи, если оно даже возможно, имѣло бы за собой тотъ недостатокъ, что при такихъ условіяхъ нарушаются права владѣльцевъ и вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняется гидравлическій режимъ цѣлаго края, что привело бы къ многочисленнымъ протестамъ и требованіямъ возмѣстить значительные убытки. Къ тому же это увеличеніе питанія связано съ стѣсненіемъ судоходства вслѣдствіе возникновенія довольно сильнаго теченія при усиленномъ питаніи.

Гораздо раціональнѣе прежде всего довести до minimum'a потребность въ водѣ для питанія и съ этой цѣлью по возможности уменьшить потери черезъ почву, составляющія главную часть всѣхъ потерь. Такова цѣль работъ по достиженію непроницаемости, и надо думать, что онѣ среди мѣръ по улучшенію каналовъ должны будутъ играть все болѣе и болѣе важную роль, по мѣрѣ того какъ недостатокъ въ водѣ будетъ возрастать, или увеличеніе глубины будетъ требовать болѣе обильнаго питанія.

Потери черезъ почву, какъ мы уже указывали раньше, бываютъ двухъ видовъ: однѣ—мѣстнаго характера и видимы простымъ глазомъ, другія—общія и по большей части невидимы. Въ первомъ случаѣ приходится имѣть дѣло съ трещинами, которыя необходимо закрыть, во второмъ — надо воспрепятствовать просачиванію черезъ водопроницаемый грунтъ. Отсюда два разныхъ типа работъ.

Мѣстныя, видимыя глазомъ потери.—Въ нѣкоторыхъ случаяхъ трещина, которую необходимо закрыть, имѣетъ широкое отверстіе въ руслѣ. Тогда, если можно выпустить воду изъ даннаго бьефа, расчищаютъ трещину, прорывая довольно широкую и глубокую канаву и обнажая болѣе плотный грунтъ, послѣ чего закрываютъ ее кладкой, бетономъ или хорошей землей. Важно, чтобы это исправленіе простиралось на достаточно большую поверхность, такъ какъ въ противномъ случаѣ вода можетъ пробить себѣ опять сбоку путь къ трещинѣ.

Однако, иногда удается устранить трещину, и не удаляя воду изъ бьефа, пользуясь теченіемъ, привлекаемымъ трещиной; можно тогда получить хорошіе результаты, бросая гравій и песокъ, увлекаемые водой въ щель. Эти матеріалы задерживаются въ извилинахъ трещины и засоряютъ ее; болѣе тонкій песокъ, бросаемый потомъ, еще больше заполняетъ пустоты; наконецъ, глина, которую вода содержитъ во взвѣшенномъ состояніи, и разнаго рода отложенія, происходящія постепенно, вполне закрываютъ трещину.

Однако, можетъ случиться, что трещина обнаруживается только на наружномъ откосѣ дамбы канала; тогда пересекаютъ трещину обыкновенно по оси дамбы траншеей, которую затѣмъ заполняютъ водонепроницаемой массой. Но не всегда легко опредѣлить мѣсто для траншеи, такъ какъ трещина внутри насыпи часто имѣетъ извилистый видъ, вслѣдствіе чего въ нѣкоторыхъ случаяхъ необходимо для изслѣдованія направленія трещины прокопать отъ мѣста обнаруженія ея галлерею, по возможности узкую и слѣдующую за всѣми извилинами трещины (рис. 76).



Если течь проявляется съ нѣкоторымъ постоянствомъ въ насыпи, сооруженной изъ сжимаемаго грунта, то можно достигнуть хорошихъ результатовъ, примѣняя слѣдующій способъ (при условіи, что работа выполняется на достаточномъ протяженіи вдоль насыпи).

По оси дамбы, на разстояніи метра другъ отъ друга забивается рядъ свай, концы которыхъ заходятъ въ плотный грунтъ; затѣмъ эти сваи выдергиваются, и образующіяся пустоты заполняются глинистой землей, которую плотно забиваютъ съ помощью свай и копра. Такимъ путемъ въ насыпь вводятся непроницаемые элементы, въ промежуткахъ между которыми сама насыпь становится болѣе непроницаемой вслѣдствіе сжатія. Если при разстояніи въ 1 метръ насыпь всетаки проницаема, то повторяютъ операцію, забивая въ промежутки еще сваи, поступая такъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ достигнутъ желаемый результатъ.

Потери въ мѣстѣ соединенія насыпи съ естественнымъ



Рис. 76. Задѣлка трещинъ мѣстныхъ и видимыхъ снаружы откоса.

грунтомъ. — Эти утечки, проявляющіяся у подошвы откосовъ насыпей, встрѣчаются очень часто и происходятъ, или вслѣдствіе недостаточно совершеннаго соединенія насыпей съ естественнымъ грунтомъ, или вслѣдствіе пористости и недостаточной плотности поверхностнаго слоя земли, который въ продолженіе многихъ лѣтъ былъ разрыхленъ и источенъ корнями и земляными червями.

Если эти потери непрерывны и происходятъ на значительной длинѣ канала, то можно примѣнить для прекращенія ихъ тѣ способы, которые будутъ разсмотрѣны ниже при разсмотрѣніи общихъ фильтрацій. Если, напротивъ, онѣ имѣютъ мѣстный, случайный характеръ, то ихъ прекращаютъ тѣмъ же путемъ, что и потери черезъ трещины, преграждая имъ путь посредствомъ массы известковой земли, заложенной на значительную глубину въ плотный грунтъ. Въ зависимости отъ взаимнаго положенія дна и естественнаго грунта, а также смотря по тому, возможно выпустить воду изъ бьефа или нѣтъ, эти работы дѣлаются или у подошвы откоса русла, или по оси дамбы.

Въ результатѣ, для устраненія мѣстныхъ и видимыхъ потерь примѣняются



тѣ способы, которые являются наиболѣе выгодными соотвѣтственно каждому частному случаю; нельзя дать общихъ правилъ, примѣнимыхъ ко всѣмъ случаямъ утечекъ, причины которыхъ могутъ быть весьма различны.

Общая фильтрація. — Общая фильтрація происходитъ вслѣдствіе проницаемости грунтовъ, въ которыхъ устраивается русло канала. Онѣ обнаруживаются главнымъ образомъ въ выемкахъ, въ хрящеватыхъ и пористыхъ породахъ. Последнія могутъ пропускать воду въ неограниченномъ количествѣ. Онѣ проявляются также и въ насыпяхъ, въ особенности если последнія сооружены изъ проницаемаго матеріала безъ описанныхъ предосторожностей.

Слѣдуетъ вообще различать два случая. Каналъ можетъ находиться на такомъ высокомъ уровнѣ, что гидростатическое давленіе снизу невозможно. Въ этомъ случаѣ фильтрація всегда происходитъ изнутри русла внаружу. Но можетъ случиться, напротивъ, что каналъ расположенъ такъ низко, что во время разлива вода естественнаго воднаго потока подъ вліяніемъ гидростатическаго давленія проникаетъ черезъ проницаемый грунтъ въ русло канала. Это давленіе снизу можетъ обнаружиться не только подъ вліяніемъ паводковъ, но также и подъ вліяніемъ подпочвеннаго теченія, стекающаго съ косогора въ рѣку (рис. 77). Какова бы ни была причина давленій снизу, разъ они могутъ проявиться, слѣдуетъ съ одинаковой тщательностью воспрепятствовать какъ фильтраціямъ снаружи во внутрь, такъ и обратно фильтраціямъ изнутри внаружу, что значительно усложняетъ задачу.

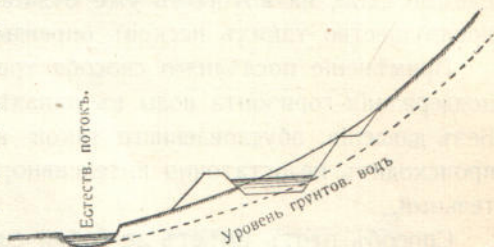


Рис. 77.

Достиженіе непроницаемости при помощи впуска мутной воды. Этотъ способъ, который можетъ быть примѣненъ лишь тамъ, гдѣ нѣтъ основанія опасаться давленій снизу, имѣетъ своей цѣлью искусственно воспроизвести то, что естественнымъ путемъ происходитъ въ бѣфахъ, слегка проницаемыхъ, предоставленныхъ самимъ себѣ. Въ самомъ дѣлѣ, въ такихъ мѣстахъ и въ особенности въ тѣхъ частяхъ канала, которыя расположены вблизи пунктовъ, гдѣ впускаются воды питанія, последнія отлагаютъ въ руслѣ илистые наносы, которые, попадая въ скважины почвы, закрываютъ ихъ. Такой именно процессъ отложенія наносовъ и старались воспроизвести искусственнымъ путемъ.

На откосы и дно русла бросаютъ песокъ, подвозимый въ судахъ; затѣмъ мутятъ воду, приводя частицы песка во взвѣшенное состояніе, пользуясь для этого особой деревянной бороной, приводимой въ движеніе лошадьми, идущими по бичевнику.

Не безразлично, какой песокъ выбранъ для этой цѣли: когда онъ тощъ, то онъ не мутитъ воды; если же онъ слишкомъ жиренъ, то вслѣдствіе клейкости онъ не проникаетъ въ пустоты. Слѣдовательно, этотъ выборъ зависитъ отъ опыта. Кромѣ того, онъ зависитъ отъ свойствъ грунта въ руслѣ. Но вообще говоря, тонкій, слегка глинистый песокъ можетъ считаться здѣсь наиболѣе подходящимъ.



На каналѣ Louis, въ Баваріи, русло котораго состояло изъ тонкаго, чистаго песку, de Pechmann съ успѣхомъ пользовался глиной; но онъ пришелъ къ слишкомъ поспѣшному выводу изъ этого счастливаго опыта, утверждая, будто всюду можно придти такимъ путемъ къ благопріятнымъ результатамъ.

Въ самомъ дѣлѣ, необходимо, чтобы закрываемыя трещины были очень узки. если желаютъ, чтобы въ нихъ задерживалась глина и даже тонкій песокъ; если же эти трещины широки, то вода выходитъ изъ нихъ такою же мутною, какою она вошла, и отложенія вовсе не производитъ.

Такъ, напримѣръ, на каналѣ отъ Роны къ Рейну въ тѣхъ частяхъ, гдѣ русло расположено въ хрящеватомъ грунтѣ, примѣненіе этого способа не имѣло никакого успѣха.

На каналѣ отъ Марны къ Рейну этотъ способъ далъ болѣе благопріятные результаты, особенно въ тѣхъ случаяхъ, когда пользовались не чистой глиной, но тонкимъ, слегка глинистымъ пескомъ. Это понятно, если принять во вниманіе, что зерна песку устремляются въ пустоты раньше, чѣмъ легкая муть, находящаяся во взвѣшенномъ состояніи въ водѣ, и образуютъ первый непроницаемый слой, на которомъ уже отлагаются частицы мути. Такимъ образомъ, преимущество такихъ песковъ оправдывается въ настоящее время опытомъ.

Примѣненіе послѣдняго способа требуетъ достаточнаго количества воды для поддержанія горизонта воды въ каналѣ по крайней мѣрѣ на высотѣ 1 метра. Безъ давленія, обусловленнаго такой высотой, увлеченіе частицъ въ пустоты происходитъ недостаточно интенсивно, и результатъ получается неудовлетворительный.

Способъ этотъ имѣетъ за собой еще то преимущество, что онъ не требуетъ выпуска воды изъ даннаго бьефа, такъ какъ каждый разъ, какъ послѣдній имѣетъ мѣсто, и дно высыхаетъ, глина сжимается, образуя трещины, которыя открываютъ водѣ новый выходъ; трещины эти, правда, легче закрыть, чѣмъ главныя пустоты, но эта работа увеличиваетъ продолжительность ремонта даннаго бьефа.

Какъ мы уже говорили, разсмотрѣнный способъ можетъ быть примѣненъ только тамъ, гдѣ нѣтъ давленій снизу, такъ какъ первымъ результатомъ этихъ давленій было бы полное уничтоженіе достигнутой непроницаемости. Въ тѣхъ случаяхъ, когда имъ можно воспользоваться, онъ очень экономиченъ, требуя расходовъ въ 4—5 франковъ на пог. метръ для достиженія средней водонепроницаемости.

Примѣненіе земляного слоя. — Способъ этотъ состоитъ въ томъ, что русло канала покрывается достаточно толстымъ слоемъ землижелаемаго качества.

Что касается выполненія этой работы, то выбранная земля предварительно тщательно разминается и освобождается отъ всѣхъ постороннихъ тѣлъ, затѣмъ она раскладывается послѣдовательными тонкими слоями, подвергаемыми сильному сжатію. Это сжатіе, значительно уменьшающее толщину слоевъ, связывающее ихъ и даже заставляющее одинъ слой проникнуть внутрь другого, достигается съ помощью ручныхъ трамбовокъ или съ помощью катковъ, приводимыхъ въ движеніе лошадьми или механической тягой. Послѣдній способъ при меньшихъ расходахъ даетъ болѣе удовлетворительные результаты, чѣмъ ручное трамбованіе.



Что касается качества выбираемой земли, то прежде всего здѣсь слѣдуетъ совершенно отказаться отъ примѣненія чистой глины, такъ какъ во время спуска воды изъ бьефа она способна при высыханіи сильно сжиматься, образуя трещины, которыя при новомъ наполненіи бьефа водой пропускаютъ ее. Кромѣ того, чистая глина размывается при продолжительномъ соприкосновеніи съ водой. Лучшимъ матеріаломъ можно здѣсь считать смѣсь песку съ глиной, причемъ послѣдняя берется въ такой пропорціи, чтобы заполнить промежутки между частицами песку, т. е. на 3—4 части песку берутъ 2 части глины. Если такой составъ не имѣется въ естественномъ видѣ, то дѣлаютъ искусственную смѣсь. Часто прибавляютъ въ смѣсь известь въ пропорціи отъ  $\frac{1}{200}$  до  $\frac{1}{100}$  въ негашенномъ видѣ, если земля сырая, и въ видѣ известкового молока, если она сухая.

Работы, произведенныя на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ.—

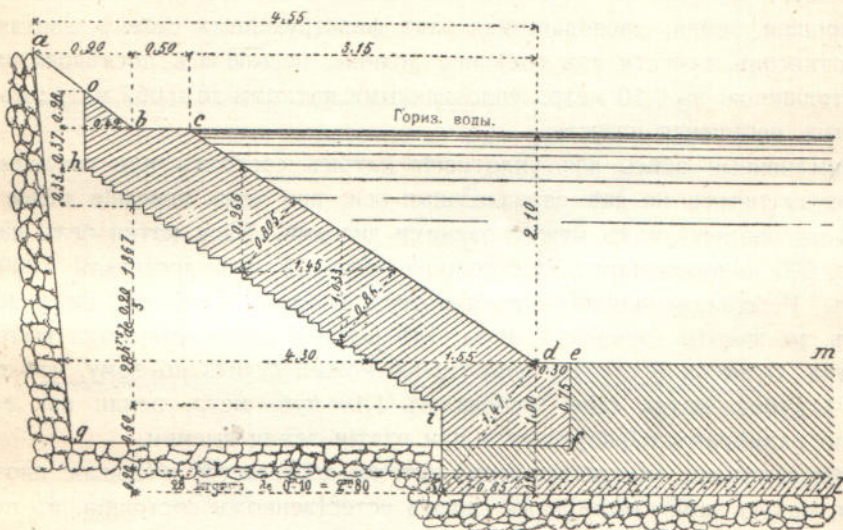


Рис. 78. Устраненіе филтрацій въ бьефѣ de Nimes.—Поперечный профиль канала.

Мы заимствуемъ изъ работы инженера Gustave'a Cadart'a слѣдующіе примѣры примѣненія послѣдняго способа, сдѣланнаго на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ, между Rolampont и раздѣльнымъ бьефомъ, т. е. въ верхней части склона Марны.

Бьефъ de Nimes.—На протяженіи 317,50 метр. выше шлюза de Nimes русло канала устроено въ насыпи, образованной изъ известкового камня, взятаго изъ сосѣдней выемки. Откосы были сооружены изъ хорошей земли. Масса хорошей земли a b c d e f g (рис. 78) была заложена на глубину 0,75 м. ниже дна канала; ширина ея въ уровнѣ дна равнялась 4,30 м. и въ уровнѣ воды 1,30 м. Кромѣ того, дно въ каменистой насыпи было покрыто слоемъ хорошей земли, толщиною въ 0,40 м. Эта послѣдняя толщина оказалась недостаточной, въ особенности по сравненію съ огромными пустотами лежащей подъ этимъ слоемъ насыпи, пустотами, черезъ которыя легко могла увлекаться земля. При первомъ впускѣ воды въ бьефъ въ днѣ образовались широкія воронки, и тонкій слой земли былъ вскорѣ унесенъ водой на всемъ протяженіи участка; вода прохо-



дила подъ боковыми массами хорошей земли и выходила у подошвы наружныхъ откосовъ насыпей въ такомъ огромномъ количествѣ, что нельзя было наполнить бьефъ. Работа по достиженію непроницаемости состояла здѣсь въ томъ, что по линіи o h i k l m d c b o. было сдѣлано углубленіе, и по дну этого углубленія k l былъ положенъ фильтрующій слой, толщиною въ 0,20 м., надъ которымъ располагался слой хорошей земли, уплотненной каткомъ; толщина слоя подъ дномъ равнялась 1 метру, а на откосахъ не менѣе 0,80 метр.

Роль фильтрующаго слоя состояла въ обезпеченіи сохраненія расположеннаго сверху него слоя земли. Фильтрующій слой былъ сдѣланъ въ видѣ настоящаго шоссе. Работа была начата выравниваніемъ дна существующей насыпи каткомъ. Затѣмъ было послѣдовательно выравнено три слоя щебенистаго матеріала общей толщиною въ 6,30 м.; слои эти были уплотнены до толщины въ 0,20 метр.

Хорошая земля, располагаемая надъ фильтрующимъ слоемъ, взятая отчасти съ откосовъ, отчасти изъ сосѣдней долины, насыпалась послѣдовательными слоями толщиною въ 0,10 метр., уплотненными каткомъ до 0,067 метр.; къ землѣ добавлялась негашеная известь.

Примѣненный здѣсь для уплотненія катокъ состоялъ изъ чугунныхъ дисковъ, насаженныхъ на двѣ параллельныя оси, при чемъ передніе диски располагались въ промежуткахъ между задними дисками. Вѣсъ катка безъ нагрузки равнялся 600 килограммамъ: при полной нагрузкѣ онъ достигалъ 1200 килограммовъ. Небольшая ширина катка позволила примѣнить его для уплотненія откосовъ до высоты горизонта воды, гдѣ ширина колеи равнялась всего лишь 0,92 метра. О высокой степени уплотненія можно судить по тому, что для полученія 1 кубич. метра слоя требовалось 1,10 куб. метр. земли изъ резерва, считая по размѣрамъ образующейся при взятіи земли выемки.

Слѣдовательно, искусственнымъ путемъ достигается большая плотность, чѣмъ та, какую земля имѣетъ въ своемъ естественномъ состояніи, въ почвѣ.

Стоимость кубическаго метра равнялась 2,45 фр., когда земля бралась съ откоса и 4,55 фр., когда ее брали изъ резерва.

Работы, произведенныя въ 1889 г., имѣли полный успѣхъ. Бьефъ de Nimes, который прежде не могъ быть наполненъ водой, по исполненіи работъ терялъ всего лишь 1,11 куб. метр. на пог. метръ въ сутки, при чемъ эти потери имѣли мѣсто почти исключительно въ тѣхъ частяхъ бьефа, гдѣ не были исполнены описанныя работы.

Бьефъ de Saint-Menge. — Дамбы бьефа de Saint-Menge, простирающіяся на протяженіи 1 километра, считая отъ шлюза съ тѣмъ же названіемъ, сооружены по большей части изъ мергельной земли, при чемъ русло покрыто съ внутренней стороны землей хорошаго качества. Во многихъ пунктахъ этотъ слой пропускалъ въ большомъ количествѣ воду, какъ вслѣдствіе своей недостаточной толщины, такъ и вслѣдствіе того, что земля не была очищена отъ камней. Тамъ, гдѣ эти потери проявлялись на значительномъ протяженіи, при чемъ ихъ можно было замѣтить часто только на наружныхъ откосахъ дамбъ, на внутреннихъ откосахъ русла былъ положенъ уплотненный слой. На рисункѣ 79-омъ видно, что водонепроницаемый слой заложенъ на глубину 0,50 метр. ниже поверхности земли, что было безусловно необходимо вслѣдствіе пористо-



сти и недостаточной плотности поверхностного слоя земли, который почти всегда был мѣстомъ главныхъ потерь.

Работа была здѣсь выполнена почти такъ же, какъ и въ предыдущемъ бьефѣ; разница заключалась лишь въ слѣдующемъ: такъ какъ во время работы погода была сырая, то здѣсь лишь въ небольшой степени примѣнялась поливка водой; далѣе известью пользовались здѣсь лишь въ исключительномъ случаѣ; наконецъ почти вся земля была взята на мѣстѣ работъ. Такимъ образомъ экономическія условія въ послѣднемъ случаѣ были гораздо выгоднѣе, чѣмъ въ бьефѣ de Humes.

Стоимость кубическаго метра непроницаемаго слоя при работѣ съ каткомъ равнялась 1,99 франк., а при работѣ съ ручной трамбовкой 2,40 франк. Первая работа производилась въ 1890 г., вторая въ 1891 г.; поэтому могла существовать нѣкоторая разница во второстепенныхъ расходахъ въ теченіе двухъ лѣтъ,

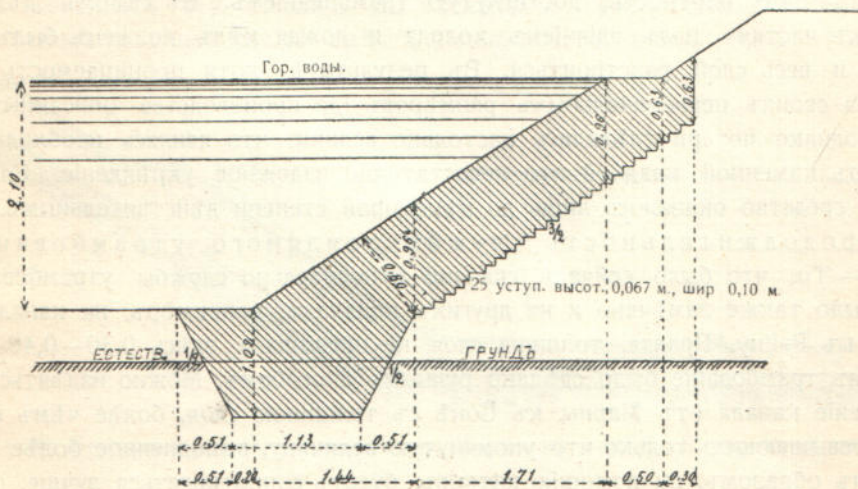


Рис. 79. Устраненіе филтрацій въ бьефѣ de Saint-Menge.—Поперечный профиль канала.

но если ограничиться сравненіемъ расходовъ на выравниваніе и уплотненіе слоевъ, то мы найдемъ, что въ одномъ случаѣ они равнялись 0,48 франк., въ другомъ 0,73 франк.

Непроницаемый слой изъ мѣла. — Въ нѣкоторыхъ случаяхъ для непроницаемости можно было воспользоваться очень проницаемымъ грунтомъ, въ которомъ было устроено самое русло канала, подвергая этотъ грунтъ соотвѣтствующей обработкѣ. Такъ напримѣръ, на каналѣ отъ l'Aisne къ la Marne, устроенномъ въ очень водопроницаемыхъ мѣловыхъ грунтахъ, были достигнуты очень хорошіе результаты примѣненіемъ слѣдующаго способа работы.

Бьефъ былъ раздѣленъ на участки длиною въ 100 метровъ. Въ первомъ участкѣ дно и откосы были разработаны на глубину въ 0,40 м., и вынутые продукты разработки были перемѣщены на другой конецъ бьефа, гдѣ и были сложены на дамбахъ; затѣмъ продукты разработки слѣдующихъ 100 метровъ были сложены послѣдовательными слоями толщиной въ 0,08 метр. на разработанномъ руслѣ предыдущаго участка. Мѣловая порода, образующая эти слои,



была тщательно раздроблена лопатой, и каждый слой был утрамбован до тех пор, пока его толщина не была доведена до 0,05 метр. После этого уплотнения его обильно поливали и затем приступали к образованию следующего слоя, который, как и первый, начинали со стороны выемки, дѣлаемой въ соседнемъ участкѣ, такъ что тачки двигались, по мѣрѣ выполнения работы, по сдѣланной части слоя. Откосы были предварительно разработаны уступами, подобно тому, какъ показано на рисункахъ 78 и 79.

Этотъ способъ былъ примѣненъ на протяженіи канала длиною въ 24—23 километра. Потери, достигавшія ранѣе 27000 куб. метр. на пог. километръ въ сутки, были спустя четыре года уменьшены до 700—800 куб. метр. Въ другомъ мѣстѣ это уменьшеніе было доведено съ 2400 куб. метр. до 350 куб. метр., такъ что можно считать, что успѣхъ былъ достигнутъ. Однако, эти благоприятные результаты не вполне сохранились. Возможно, что съ теченіемъ времени мѣловой слой утратилъ свою плотность, достигнутую трамбованіемъ. Въ самомъ дѣлѣ, въ верхнихъ частяхъ подъ вліяніемъ холода и дождя мѣлъ долженъ былъ вспучиться и весь слой разстроиться. Въ результатѣ, хотя проницаемость и не достигла своихъ первоначальныхъ размѣровъ (до производства описанныхъ работъ), однако потери сдѣлались настолько велики, что явилась необходимость замѣнить каменной кладкой это недостаточно надежное укрѣпленіе. Слѣдовательно, средство оказалось лишь до нѣкоторой степени дѣйствительнымъ.

Продолжительность службы земляного утрамбованнаго слоя. — То, что было сейчасъ сказано относительно службы утрамбованнаго слоя, было также замѣчено и на другихъ каналахъ, на примѣръ, на каналѣ отъ Марны къ Рейну. Правда, толщина слоя не превышала здѣсь 0,30—0,40 метр., при чемъ трамбованіе было сдѣлано ручнымъ способомъ. Можно надѣяться, что укрѣпленіе канала отъ Марны къ Сонѣ съ толщиной слоя, болѣе чѣмъ въ два раза превышающею только что упомянутую величину, выполненное болѣе совершеннымъ образомъ, съ помощію катковъ, будетъ сопротивляться лучше, однако и оно не свободно отъ тѣхъ недостатковъ, которые вообще свойственны такого рода укрѣпленіямъ. Именно, всѣ они въ сильной степени подвергаются всевозможнымъ разрушающимъ вліяніямъ: непосредственному соприкосновенію и ударамъ воды, переменамъ погоды, попеременному чередованію сырости и сухости, замерзанія и таянія, по крайней мѣрѣ въ уровнѣ горизонта воды, толчкамъ и тренію отъ судовъ, ударамъ багровъ и другихъ приспособленій, которыми пользуются судоходцы и проч.

Примѣненіе каменной кладки. — Наболѣе надежнымъ средствомъ достигнуть непроницаемости является примѣненіе каменной кладки или бетона. Если русло устроено въ горной породѣ хорошаго качества съ небольшимъ числомъ трещинъ, то достаточно примѣнить простую заливку или задѣлку кладкой этихъ трещинъ. Напротивъ, въ случаѣ породы дурного качества, испещренной трещинами, необходимо прибѣгнуть къ сплошному укрѣпленію.

Такъ, на примѣръ, въ раздѣльномъ бьефѣ канала de Saint-Quentin боковые стѣнки русла были сложены изъ кирпичной кладки и имѣли уклонъ въ  $\frac{1}{10}$ , а дно на всей ширинѣ было вымощено кирпичемъ на слоѣ бетона толщиной въ 0,09 метр. Полная толщина укрѣпленія достигала 0,15 метр. Расходы по сооружеію этого укрѣпленія равнялись приблизительно 4 франк. на квадрат. метрѣ.



Однако, наиболѣе употребительнымъ способомъ укрѣпленія является при-  
мѣненіе бетона на всемъ периметрѣ канала.

Въ 1849—1851 годахъ въ части канала отъ Марны къ Рейну, принадле-  
жащей къ раздѣльному бьефу de Mauvages, Malézieux были произведены  
работы, которыя служили впослѣдствіи образцомъ въ области бетонныхъ работъ.  
Здѣсь, съ перваго раза, способъ бетонированія былъ доведенъ до такого совер-  
шенства, что въ позднѣйшее время онъ подвергся лишь незначительнымъ видо-  
измѣненіямъ, о чемъ можно судить по дальнѣйшему изложенію.

Бетонныя работы на каналѣ отъ Марны къ Рейну. — Какъ  
видно изъ рисунка 80, бетонный слой поднимается вдоль откоса на высоту  
0,20 метра надъ горизонтомъ воды. Толщина его по дну русла и у основанія  
откосовъ равна 0,15 метр., тогда какъ къ верху она постепенно уменьшается  
до 0,10 метр. Слой бетона покрытъ слоемъ земли толщиной въ 0,30—0,40 метр.  
Чтобы сохранить эту толщину въ предѣлахъ бермы, сдѣланной въ уровнѣ  
воды, откосъ бетонной кладки имѣетъ болѣе пологій уклонъ, чѣмъ откосъ русла

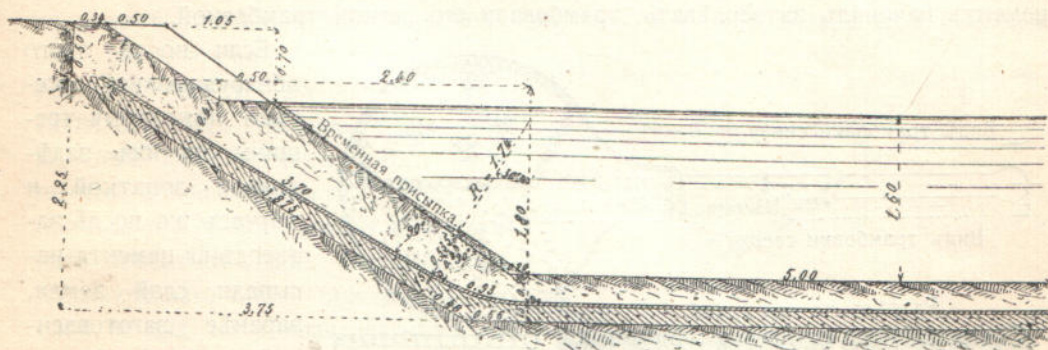


Рис. 80. Бетонныя работы на каналѣ отъ Марны къ Рейну.—Поперечный разрѣзъ.

Бетонъ покрытъ съ наружной поверхности слоемъ гидравлическаго раствора  
толщиною въ 0,02 метр.

Что касается самаго выполненія работы, то оно, представляя значительныя  
трудности, въ общихъ чертахъ было слѣдующее.

Русло было предварительно тщательно разработано, такъ что слой бетона  
могъ лежать на грунтѣ, хорошо очищенномъ отъ всѣхъ рыхлыхъ частицъ, пре-  
пятствующихъ сцѣпленію, и достаточно прочномъ для возможно лучшаго уплот-  
ненія бетона. При покрытіи бетона пользовались очень мягкой и мелкой землей  
для образованія перваго слоя, такъ какъ необходимо было устранить возмож-  
ность соприкасанія камней съ верхнимъ слоемъ раствора.

Бетонъ раскладывался горизонтальнымъ слоемъ по дну русла съ неболь-  
шимъ запасомъ противъ проектной толщины. Затѣмъ его энергично утрамбо-  
вывали, пока онъ не пріобрѣталъ достаточной плотности, и пока заключенный  
въ немъ растворъ не показывался наружу. Для покрытія бетономъ откосовъ,  
клали его сначала на досчатый полъ, уложенный по дну русла, и затѣмъ укла-  
дывали его лопатами на откосы, образуя послѣдовательный рядъ пластовъ тол-  
щиною не болѣе 0,20 метр., которые утрамбовывались вертикально круглыми  
трамбовками и перпендикулярно къ поверхности откоса плоскими трамбовками,



до тѣхъ поръ, пока каждая часть не получала хорошей связи съ предыдущей. Въ мѣстѣ сопряженія откосовъ съ дномъ толщина бетона увеличивалась.

Тотчасъ же послѣ трамбованія бетонъ подвергали ударамъ легкой ручной трамбовки особаго типа, вѣсящей около 4 килограммовъ и состоящей изъ двухъ слоевъ кожи, подбитыхъ толстыми гвоздями, въ родѣ сапожныхъ (рис. 81). Когда бетонъ нѣсколько сгушался, пользовались болѣе тяжелой трамбовкой, вѣсомъ въ 10 килограммовъ, состоявшей изъ четырехъ слоевъ кожи, также какъ и предыдущая окованной гвоздями. Эту работу продолжали до тѣхъ поръ, пока камни совершенно не дѣлались незамѣтными на поверхности бетона.

Черезъ сутки послѣ этой операціи очищали и поливали поверхность бетона, а если онъ началъ затвердѣвать, то даже скребли ее и затѣмъ клали на бетонъ посредствомъ лопатки слой цементнаго раствора такъ, чтобы получить возможно лучшее сцѣпленіе. Затѣмъ выравнивали этотъ слой, давая ему толщину отъ 0,020 до 0,025 метр. и черезъ день по окончаніи этой работы, когда цементъ начиналъ затвердѣвать, трамбовали его легкой трамбовкой.

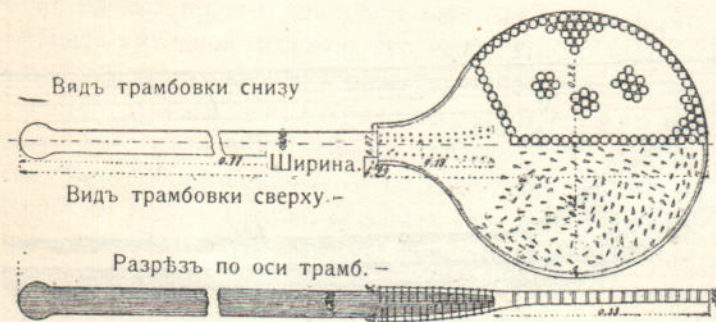


Рис. 81.

Если послѣ этого обнаруживались все-таки нѣкоторыя трещины, то ихъ задѣлывали лопаткой и тотчасъ же послѣ затвердѣнія цемента насыпали слой земли, заранѣе заготовленной для этой цѣли.

Слѣдуетъ обращать самое тщательное вниманіе на то, чтобы слой, сработанный втеченіе одного дня, хорошо связывался съ своимъ продолженіемъ при возобновленіи на слѣдующій день прерванной на ночь работы. Съ этой цѣлью скашиваютъ прерываемый слой въ видѣ клина, а также стараются, какъ только возможно, сократить линію перерыва по длинѣ, для чего работы по откосу и по дну русла ведутся параллельно. Слѣдятъ также затѣмъ, чтобы линіи перерыва въ цементномъ слоѣ и бетонѣ ни подъ какимъ видомъ не совпадали, но отстояли другъ отъ друга по меньшей мѣрѣ на 0,20 метр. Какъ мы уже говорили выше, первый опытъ примѣненія подобныхъ работъ былъ сдѣланъ Malézieux въ широкихъ размѣрахъ на каналѣ отъ Марны къ Рейну въ 1849—1851 г., въ части его, принадлежащей къ бьефу de Mauvages. Расходы на эти работы достигли суммы въ 1.900.000 франковъ, что даетъ около 65 франковъ на пог. метр. и 3,40 франка на кв. метръ. Это бетонированіе позволило избѣгнуть отвѣтвленія Meuse'ы, оцѣненного въ 600.000 франк., устройства водохранилищъ стоимостью въ 2.600.000 франк., къ тому же признанныхъ впослѣдствіи невыполнимыми, наконецъ уплаты по крайней мѣрѣ 1.200.000 франковъ вознагражденія владѣльцамъ заводовъ, такъ какъ они были бы вынуждены искать новыхъ водныхъ источниковъ для дѣйствія своихъ заводовъ. Такимъ образомъ получилась значительная экономія, при чемъ одновременно и нужды судоходства были



вполнѣ удовлетворены, и права заводовъ на владѣніе гидравлической энергіей не были нарушены.

Бетонныя работы на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ.—Болѣе сорока лѣтъ спустя послѣ выполненія описанныхъ выше работъ, именно, въ 1886 — 1897 г. были произведены очень значительныя бетонныя работы (полная поверхность, покрытая бетономъ, достигала 244.992 кв. метр.) на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ, между Rouvroy и Chaumont, т. е. въ нижней части склона Марны. Рисунокъ 82 даетъ поперечный профиль сооруженія, очень приближающійся къ профилю Malézieux. Если не считать системы кольевъ и досокъ, имѣющихъ своимъ единственнымъ назначеніемъ защищать берму въ горизонтѣ воды, то между обоими профилями, существуетъ лишь слѣдующее различіе: бетонный слой поднимается на 0,30 метр. (вмѣсто 0,20 метр.) надъ горизонтомъ воды, толщина его и цементнаго слоя соотвѣтственно уменьшены до 0,10 и 0,015 метр. (вмѣсто 0,15 и 0,020).

Послѣднее обстоятельство нуждается въ нѣкоторыхъ поясненіяхъ. Инженеры на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ полагали, что при тѣхъ матеріалахъ, которыми они располагали, бетонъ не могъ обладать достаточной непроницаемостью. По ихъ мнѣнію только цементный слой можетъ здѣсь обезпечить непроницаемость, тогда какъ назначеніе бетона—лишь поддерживать цементный слой. Но, изъ продолжительнаго опыта они нашли, что слой бетона на гидравлическомъ известковомъ растворѣ, толщина котораго при первоначальной кладкѣ равная

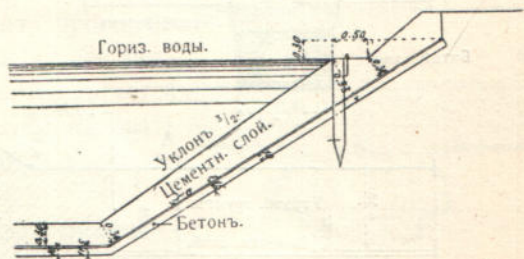


Рис. 82.

0,11 метр. доводилась трамбованіемъ до 0,10 метр., вполнѣ достаточенъ для удовлетворенія этому назначенію. Напротивъ, для верхняго слоя, толщина котораго послѣ окончательной отдѣлки доводилась до 0,015 метр., гидравлическій известковый растворъ былъ замѣненъ растворомъ изъ шлакового цемента; въ нѣкоторыхъ случаяхъ здѣсь была примѣнена также смола, о чемъ мы еще скажемъ дальше. Расходы на произведенныя работы на поверхности въ 244.992 кв. метр. достигли суммы въ 631.919 франк., что даетъ въ среднемъ 2,58 франк. за кв. метръ, не считая различныхъ работъ, уплата за которыя производилась изъ той-же суммы.

Особенное устройство русла канала въ случаяхъ возможности давленій снизу. Описанные выше способы устраненія филтрацій въ руслѣ могутъ быть примѣняемы только тогда, когда филтраціи проявляются изнутри русла внаружу. Въ противномъ случаѣ, т. е. въ случаѣ, когда есть основаніе опасаться давленій снизу, которыя могутъ приподнять бетонный слой, поступаютъ слѣдующимъ образомъ.

Подъ дномъ русла канала устраиваютъ достаточное число продольныхъ дренажныхъ канавъ (обыкновенно три), въ которыя и принимаются воды, притекающія извнѣ русла. Черезъ опредѣленные промежутки продольныя канавы пересѣкаются поперечными, которыя поднимаются подъ откосами и открыва-



ются своими отверстиями въ русло канала немного выше его дна (рис. 83). Отверстіе снабжается клапаномъ, который герметически закрытъ, когда давленіе направлено изнутри русла внаружу его, и который открывается, какъ только давленіе измѣняетъ свое направленіе, давая такимъ путемъ свободный выходъ подпочвенной водѣ и предотвращая всякую опасность, возникающую вслѣдствіе давленій снизу.

На каналѣ отъ Марны къ Рейну дренажныя канавы имѣли сѣченіе  $0,20 \times 0,20$  метр. и состояли изъ двухъ каменныхъ стѣнокъ, сложенныхъ изъ сухой бутовой кладки; сверху стѣнки были перекрыты дубовыми досками толщиною въ 0,03 метр. или каменными плитами (рис. 84). Толщина бетоннаго слоя была доведена до 0,20 метр. На каналѣ отъ Марны къ Сонѣ въ качествѣ дренажныхъ канавъ примѣнялись цементныя трубы съ внутреннимъ діаметромъ отъ 0,10 до

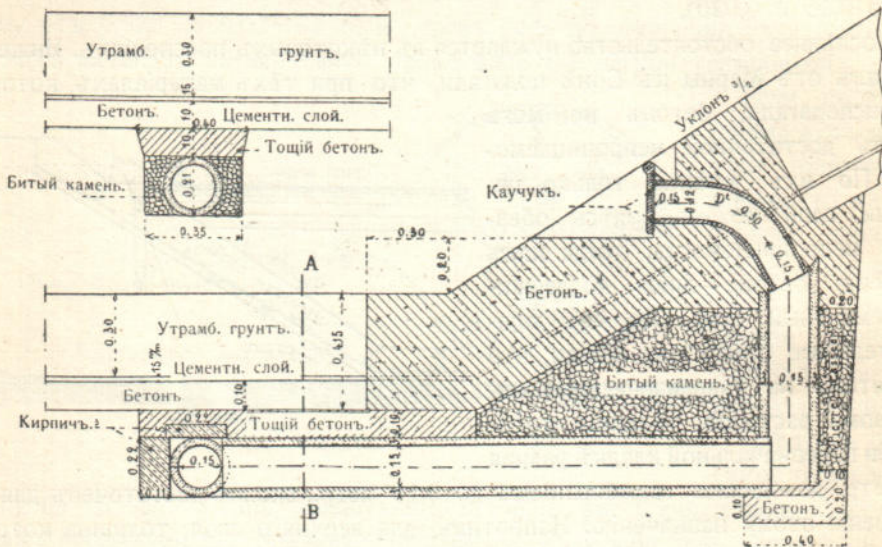


Рис. 83. Бетонныя работы въ каналѣ отъ Марны къ Сонѣ.—Поперечный профиль въ случаѣ существованія фильтраціи извнѣ внутрь канала.

0,20 метр., расположеніе которыхъ понятно изъ рисунка. На этомъ рисункѣ толщина бетоннаго слоя увеличивается на 0,10 метр. только надъ дренажной трубой. Въ другихъ частяхъ канала, въ которыхъ также можно было ожидать появленія давленій снизу, толщина бетоннаго слоя по дну была доведена до 0,20 метр., считая по всей его ширинѣ. На рисункѣ показанъ также клапанъ, типъ и способъ установки котораго можно признать очень рациональнымъ.

Едва-ли слѣдуетъ добавлять, что выполненіе этихъ различныхъ требованій увеличиваетъ стоимость бетонныхъ работъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ возможно ожидать давленій снизу. Данныя выше цѣны квадратнаго метра—суть среднія величины.

Различныя подробности относительно выполненія бетонныхъ работъ.—Слой бетона толщиною въ 0,17 метр. (тѣмъ болѣе толщиною въ 0,115 метр.) является въ высшей степени ломкимъ; если помѣстить его на грунтѣ, способномъ къ перемѣщеніямъ, то есть полное основаніе опасаться раз-



рушения слоя, вслѣдствіе чего работы не принесутъ желаемыхъ результатовъ. Поэтому бетонныя работы можно признать умѣстными въ части канала, сдѣланной въ выемкѣ, гдѣ русло устраивается въ достаточно прочномъ грунтѣ, хотя иногда и весьма проницаемомъ, и здѣсь эти работы могутъ быть произведены тотчасъ же послѣ выполнения земляныхъ работъ. Въ случаѣ насыпей слѣдуетъ быть осторожнымъ и не начинать работать ранѣе, чѣмъ насыпь получитъ полную осадку, что часто требуетъ много времени.

Очень важнымъ вопросомъ является здѣсь составъ и приготовленіе растворовъ и бетона. Для возможно большей непроницаемости ихъ необходимо, чтобы въ растворѣ известъ или цементъ вполнѣ заполняли пустоты между частицами песка, и чтобы въ бетонѣ растворъ точно такъ же заполнялъ промежутки въ гравіи или щебнѣ. Поэтому пропорціи должны быть опредѣлены въ каждомъ частномъ случаѣ путемъ прямого опыта [съ данными матеріалами. На каналѣ отъ Марны къ Сонѣ для верхняго слоя, который по мнѣнію инженеровъ, строившихъ каналъ, одинъ только обезпечивалъ непроницаемость русла, была принята пропорція въ 400 килограммовъ гидравлической гашеной извести въ порошкообразномъ видѣ или шлакового цемента на одинъ кубическій метръ мелкаго песка, но эта пропорція отнюдь не можетъ быть принята за общее правило, а имѣетъ лишь частное значеніе. Что касается приготовленія растворовъ, то можно посоветовать пользоваться мѣшалками съ горизонтальнымъ желобомъ.

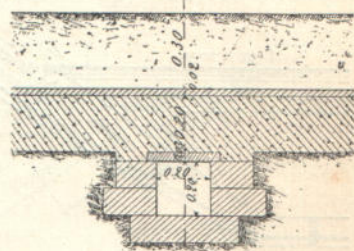


Рис. 84.

Для бетона пользуются почти всегда гидравлической известью; только въ нѣкоторыхъ исключительныхъ случаяхъ, когда необходимо ускорить схватываніе раствора для предотвращенія размыва, инженеры на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ замѣняли известь шлаковымъ цементомъ. Напротивъ, послѣднему они отдавали предпочтеніе при выполненіи верхняго слоя, покрывающаго бетонъ. Быстрота схватыванія цемента является серьезнымъ преимуществомъ для производства работъ; съ другой стороны, послѣ схватыванія его достигается почти абсолютная непроницаемость. Позднѣйшее покрытие цементнымъ молокомъ (одинъ или два раза) еще болѣе увеличиваетъ непроницаемость.

Съ цѣлю увеличенія этой непроницаемости нѣкоторые инженеры совѣтуютъ покрывать смолой верхній цементный слой или даже самый бетонный слой, дѣлаемый безъ цементнаго покрова. Они полагаютъ, что смола, нагрѣтая до консистенціи сиропа, и положенная въ нагрѣтомъ состояніи двумя послѣдовательными слоями, закрываетъ всѣ трещины, заполняетъ всѣ капиллярныя щели, почти неизбѣжныя при высыханіи бетона или цемента, и составляетъ лучше средство достигнуть полной водонепроницаемости. Это покрываніе смолой дѣлается по окончаніи бетонирования непосредственно передъ выполненіемъ земляного покрытія.

Опыты, сдѣланные на каналѣ отъ Марнѣ къ Рейну, дали рѣшительныя показанія въ пользу примѣненія смолы. Было найдено, что потеря на кв. метръ въ 24 часа равнялась; при бетонномъ слоѣ безъ верхняго покрова и безъ примѣненія смолы—17.85 литрамъ.



При томъ-же слоѣ безъ верхняго покрова, но съ примѣніемъ осмаливанія— 1,67 литр.

При томъ-же слоѣ съ верхнимъ покровомъ изъ цементнаго раствора, но безъ покрытія смолой, въ зависимости отъ состава раствора — 9,28 литр., 3,34 литр. и 1,41 литр.

При томъ же слоѣ съ верхнимъ покровомъ изъ цементнаго раствора и съ примѣніемъ смолы потери совершенно исчезли.

Тѣмъ не менѣе въ многихъ случаяхъ достигаютъ почти полной водонепроницаемости, пользуясь растворомъ съ увеличенной пропорціей цемента и отказываясь отъ примѣненія смоляного покрова. Послѣдняя операція, невозможная при нѣкоторыхъ атмосферныхъ условіяхъ, всегда требуетъ много времени и тѣмъ значительно отдѣляетъ моментъ покрытія землянымъ слоємъ. Это представляетъ большое неудобство, такъ какъ подобнаго рода работы должны быть обыкновенно быстро выполнены втеченіе короткаго періода перерыва въ судоходствѣ. Земляной слой является необходимымъ и дѣйствительнымъ коррективомъ для ломкости бетоннаго слоя, который предохраняется имъ отъ непосред-

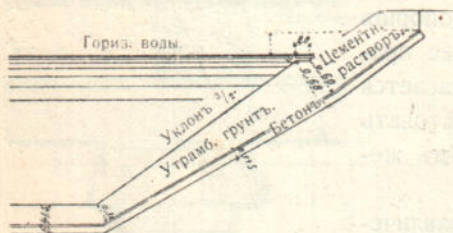


Рис. 85.

ственного соприкосновенія съ водой, вліянія атмосферы, толчковъ и тренія отъ судовъ, ударовъ багровъ и другихъ орудій, которыми пользуются судоходцы. Толщина земляного слоя вообще не должна быть менѣе 0,03 метр.

Особенно чувствительно проявляются эти вредныя дѣйствія въ уровнѣ поверхности воды. Здѣсь неизбежно подъ вліяніемъ указанныхъ причинъ обнаруживаются характерныя деформаціи откосовъ русла канала. Бетонный слой, образующій поверхность скольженія, не можетъ способствовать уменьшенію вреднаго дѣйствія. Дѣйствительно, въ каналахъ, гдѣ былъ примѣненъ такой водонепроницаемый слой, часто приходилось наблюдать, что верхняя часть бетона, по истеченіи нѣкотораго времени лишенная своего землянаго покрытія, подвергалась всѣмъ разрушающимъ вліяніямъ. Здѣсь мало по малу обнаруживалась въ горизонтѣ воды продольная трещина, которая, постепенно разрастаясь, получала характеръ настоящаго водослива, черезъ который происходили весьма значительныя утечки.

Для устраненія этого вреднаго дѣйствія на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ ближайшая къ водѣ бровка бермы, сдѣланной въ горизонтѣ воды, укрѣплена системой кольевъ и досокъ. Колья проходятъ внутрь бетона, въ которомъ такимъ путемъ образуется рядъ отверстій приблизительно на 0,60 метр. ниже горизонта воды. Послѣднее представляетъ серьезный недостатокъ, вслѣдствіе чего этотъ типъ укрѣпленія былъ оставленъ.

На рисункѣ 85 показанъ другой, болѣе раціональный типъ. Берма имѣетъ ширину только въ 0,20 метр, и располагается на 0,10 метр. ниже горизонта воды, но толщина земляного слоя вблизи бермы не менѣе 0,60 метр. Кромѣ того наклонъ бетоннаго слоя подъ откосомъ нѣсколько уменьшается, вслѣдствіе чего опасность скольженія здѣсь не такъ значительна.



Если возможно, безъ значительныхъ расходовъ, защитить откосъ сухой кладкой, то такое рѣшеніе задачи можно признать очень раціональнымъ (рис. 86). Достаточно выполнить кладку только въ верхней части откоса, но тогда безусловно необходимо имѣть достаточно прочное основаніе у подошвы кладки.

На рисункѣ 87 показанъ типъ, примѣняемый въ этомъ послѣднемъ случаѣ на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ; въ земляномъ слоѣ была сдѣлана берма шириною въ 1 метръ, и толщина его въ нижней части откоса постепенно увеличивалась.

На каналѣ отъ Марны къ Рейну задача была разрѣшена другимъ путемъ (рис. 88). Каменная кладка на растворѣ лежитъ почти на самомъ бетонномъ непроницаемомъ слоѣ, будучи отдѣлена отъ послѣдняго лишь тонкимъ слоемъ бетона, толщина котораго мѣняется въ зависимости отъ размѣровъ камней. Подошва кладки поддерживается продольнымъ деревяннымъ брусомъ, связаннымъ съ бетоннымъ слоемъ подбалками съ крючками, располагаемыми на расстоянии 1,50 метра другъ отъ друга.

Общій выводъ. — Въ случаѣ возможности нарушенія равновѣсія между расходомъ воды въ каналѣ и его питательными средствами первой обязанностью инженеровъ является уменьшеніе расхода; и тогда возникаетъ вопросъ о работахъ по устраненію фильтрацій. Само собой разумѣется, что первыя усилія должны быть направлены на наиболѣе проницаемыя части. Что касается выбора самого способа этихъ работъ, то это должно быть сдѣлано въ зависимости отъ тщательнаго изученія различныхъ мѣстныхъ условій, особенно строенія почвы и свойства имѣющихся подъ рукой матеріаловъ. Если не нуждаются въ очень совершенной водонепроницаемости, то достиженіе ея съ помощію мутной воды является очень экономичнымъ; но здѣсь не слѣдуетъ упускать изъ вида, что существуетъ тѣсная зависимость между свойствомъ матеріаловъ, приводимыхъ во взвѣшенное состояніе въ водѣ, и величиной пустотъ, обуславливающихъ проницаемость грунта. Если это соотношеніе не соблюдается, то нельзя рассчитывать на успѣхъ. Вообще способъ этотъ можно признать пригоднымъ какъ дополненіе при работѣ въ цѣломъ бьефѣ или нѣсколькихъ бьефахъ, при чемъ въ трудныхъ мѣстахъ примѣняются другіе, болѣе совершенные способы достиженія непроницаемости.

Примѣненіе утрамбованнаго земляного слоя даетъ сначала очень хорошіе

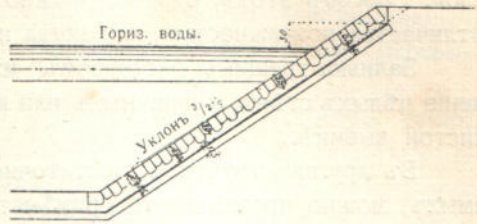


Рис. 86.



Рис. 87.

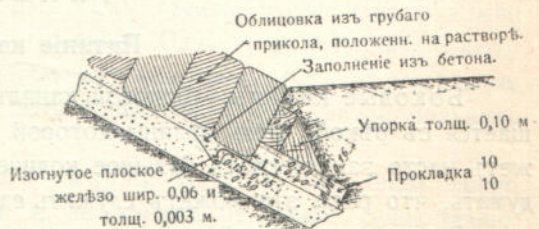


Рис. 88.



результаты, но съ теченіемъ времени слой постепенно начинаетъ терять свою водонепроницаемость. Если, для обезпеченія болѣе продолжительной службы слоя, дѣлать его съ такими размѣрами и такой тщательностью, какъ на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ, то земляной слой обходится такъ же дорого, какъ и бетонный слой. Способъ этотъ, однако, можно признать очень цѣннымъ, когда грунтъ отличается подвижностью, или когда насыпь еще не вполне дала осадку.

Заливка трещинъ растворомъ, ихъ задѣлка кладкой, или наконецъ примѣненіе цѣлыхъ стѣнъ, кирпичныхъ или каменныхъ, является рачіональнымъ въ скалистой выемкѣ.

Въ другихъ грунтахъ, достаточно прочныхъ, хотя бы и сильно проницаемыхъ, можно посовѣтовать примѣнять бетонный слой. Если дополнить бетонный слой дренажемъ, дѣлаемымъ подъ слоемъ, то можно пользоваться имъ также въ случаяхъ, гдѣ обнаруживаются давленія снизу. Всякій другой способъ является здѣсь недѣйствительнымъ, такъ какъ давленія снизу уничтожаютъ достигнутый результатъ.

Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что, если благодаря хорошо выполненнымъ работамъ и удастся въ нѣкоторыхъ мѣстахъ канала достигнуть почти полной непроницаемости, то это не можетъ имѣть мѣста на всемъ протяженіи канала, такъ что въ результатѣ общая потеря на всемъ судоходномъ пути остается всегда значительной. Цифра въ 1 кубич. метръ въ сутки на погон. метръ, которая была дана выше какъ практически достижимый minimum во французскихъ каналахъ общеупотребительнаго типа, не можетъ быть названа преувеличенной.

Maurice Lévy, генеральный инспекторъ, въ своей брошюрѣ «Observations sur la catastrophe de Bouzey» приводитъ данныя о потеряхъ вслѣдствіе испареній, фильтрацій и проч. на погонный метръ въ сутки во многихъ французскихъ каналахъ съ общей длиною въ 1304 километра. Средняя величина равна 1,8 куб. метр., наибольшая 13,5 куб. метр. и наименьшая 0,2 куб. метр.

## ГЛАВА VII.

### Питаніе каналовъ.

Боковые каналы.—Боковой каналъ въ своемъ началѣ обыкновенно сообщается съ рѣкой, вдоль долины которой онъ слѣдуетъ и изъ которой онъ можетъ часто заимствовать большое количество воды; однако, было бы ошибкой думать, что рѣка эта можетъ служить единственнымъ источникомъ питанія.

Разсмотримъ часть канала, питаемую исключительно въ своемъ верховомъ концѣ; потребное для питанія канала количество воды должно служить для слѣдующихъ цѣлей; должно покрывать: 1<sup>0</sup> потери вслѣдствіе фильтраціи и всасыванія почвы, испаренія, неправильныхъ маневровъ, считая эти потери на всемъ протяженіи рассматриваемой части канала; 2<sup>0</sup> полезный расходъ въ послѣднемъ шлюзѣ; 3<sup>0</sup> потери черезъ ворота этого шлюза. По мѣрѣ возрастанія длины рассматриваемой части канала возрастаютъ пропорціонально и потери (1<sup>0</sup>); полезный расходъ (2<sup>0</sup>) также можетъ увеличиться, если послѣдній шлюзъ будетъ находиться въ болѣе промышленной области съ болѣе интенсивнымъ судоходствомъ;



слѣдовательно, увеличивая длину части канала, заимствующей воду изъ одного и того-же источника, расположеннаго въ верховьяхъ этой части, мы вскорѣ настолько увеличимъ необходимый расходъ, что скорость теченія въ каналѣ сдѣлается несоотвѣтствующей условіямъ судоходства, и кромѣ того возможность неправильныхъ маневровъ сильно возрастетъ. Но особенно чувствительными становятся недостатки такого питанія при наполненіи канала послѣ перерыва въ судоходствѣ.

Боковой каналъ Луары представляетъ замѣчательный примѣръ такихъ недостатковъ въ годы, когда засуха столь значительна, что небольшія притоки иссякаютъ. Въ этомъ случаѣ питаніе канала на протяженіи 161 километровъ совершается исключительно насчетъ воды, заимствуемой въ Луарѣ, у Роана.

Площадь живого сѣченія канала можетъ быть принята равной 30 кв. метр. (въ круглыхъ цифрахъ); слѣдовательно полный объемъ воды, необходимой для наполненія разсматриваемой части канала, равенъ  $30 \times 161.000 = 4.830.000$  куб. метр. Въ интересахъ судоходства желательно, чтобы скорость воды въ каналѣ не превосходила 0,10 метра въ секунду, что даетъ расходъ въ 3 куб. метр. въ секунду, или круглымъ числомъ 260.000 куб. метр. въ день. Слѣдовательно, для наполненія разсматриваемыхъ 161 километровъ понадобится 19 дней или около трехъ недѣль. Но, какъ мы уже говорили раньше, если перерывъ въ судоходствѣ былъ продолжителенъ и засуха велика, то потребуются по крайней мѣрѣ въ два раза большій объемъ, чѣмъ теоретическій, что еще больше отдалитъ моментъ возобновленія судоходства.

Поэтому, даже въ томъ случаѣ, когда каналъ располагаетъ въ своей верховой части почти неограниченнымъ запасомъ воды, необходимо раздѣлить его на нѣкоторое число бьефовъ, изъ которыхъ каждый питается самостоятельно, такъ чтобы, соотвѣтственно принципу, данному инженеромъ Сому, «вода пробѣгала наименьшую длину канала, прежде чѣмъ она достигнетъ мѣста своего назначенія».

Нѣтъ возможности дать опредѣленные данныя относительно разстоянія между этими отдѣльными второстепенными источниками питанія; повидимому это разстояніе можетъ быть тѣмъ больше, чѣмъ грунты русла канала менѣе проницаемы, и чѣмъ судоходство менѣе интенсивно. Однако, въ дѣйствительности это разстояніе зависитъ главнымъ образомъ отъ мѣстныхъ условій; отдѣльныя заимствованія воды дѣлаются тамъ, гдѣ безъ большихъ затратъ можно получить достаточные источники питанія.

Главный запасъ воды въ началѣ канала. Какъ бы ни было важно существованіе многихъ запасовъ воды вдоль канала, не менѣе существенно, чтобы заимствованіе воды у главнаго источника въ началѣ канала дѣлалось по возможности въ [самыхъ широкихъ размѣрахъ. Съ этой цѣлью обыкновенно рѣку, служащую для питанія, подпружаютъ плотиной.

Такъ какъ боковой каналъ сходенъ съ отвѣтвленіемъ большой длины, то можно было бы думать, что онъ долженъ быть расположенъ въ своемъ началѣ подобно отвѣтвленіямъ рѣки; однако это было-бы по большей части ошибочнымъ. Обыкновенно первый бьефъ канала не находится въ прямомъ сообщеніи съ рѣкой; онъ отдѣляется отъ нея посредствомъ камернаго шлюза, при чемъ горизонтъ воды въ этомъ первомъ бьефѣ значительно ниже горизонта воды въ



запруженномъ мѣстѣ рѣки; благодаря такому взаимному расположенію канала и рѣки можно по желанію поднять горизонтъ воды перваго бьефа, что по разнымъ причинамъ является очень цѣннымъ. Такъ напримѣръ, первый бьефъ канала, въ который непосредственно попадаютъ часто очень мутныя воды рѣки, сильнѣе другихъ бьефовъ способенъ заносится наносами; поднимая горизонтъ воды въ немъ, можно поддерживать требуемую глубину, пока не будутъ выполнены очистительныя работы. Съ другой стороны, поднятіе горизонта воды въ первомъ бьефѣ позволяетъ, при случаѣ, сберечь болѣе или менѣе значительный объемъ воды, который можетъ облегчить питаніе нижележащихъ бьефовъ.

Далѣе, если камерный шлюзъ, находящійся въ началѣ канала, долженъ пропускать значительное число судовъ, то безъ сильнаго стѣсненія судоходства нельзя пользоваться этимъ шлюзомъ для питанія канала; поэтому для впуска питатель-

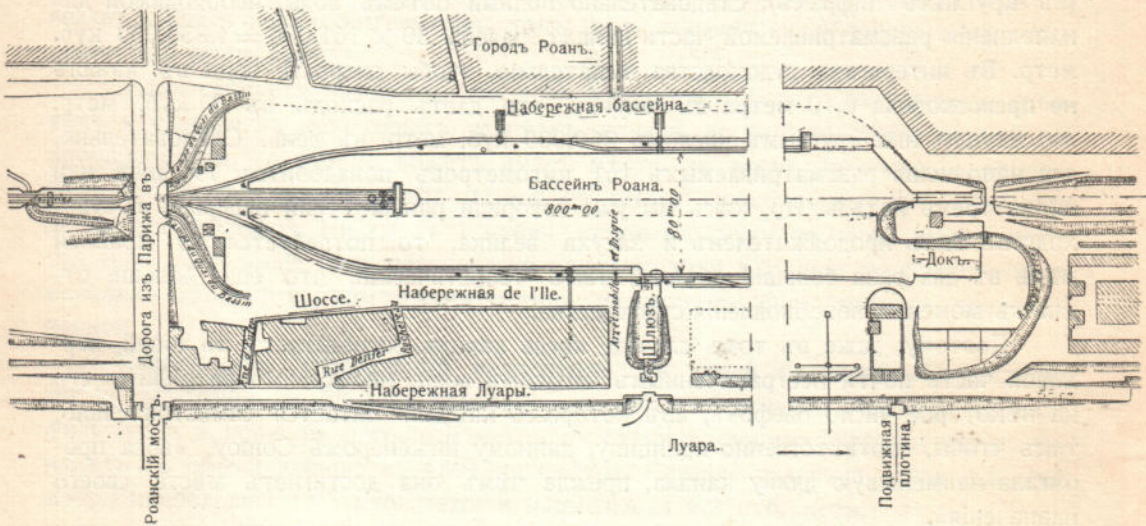


Рис. 89. Питаніе водами Луары канала отъ Роана до Дигуана.—Планъ.

ной воды, въ запруженномъ мѣстѣ необходимо имѣть специальное сооруженіе, которое можетъ быть устроено вблизи шлюза, но должно быть вполнѣ независимо отъ послѣдняго. Сооруженіе это можетъ состоять изъ простого щитового затвора, однако предпочтительнѣе помѣщать этотъ затворъ въ концѣ бассейна, начальная часть котораго состоитъ изъ водослива, пропускающаго въ бассейнъ воды рѣки. При условіи, что длина водослива берется настолько значительной, что скорость воды въ переливающемся слоѣ воды не превосходитъ скорости воды въ рѣкѣ, можно значительно уменьшить доступъ взвѣшенныхъ частицъ изъ рѣки въ каналъ. Существованіе двухъ различныхъ сооружений въ началѣ канала имѣетъ за собой еще и то преимущество, что если одно изъ нихъ на короткое время перестаетъ выполнять свое назначеніе, то питаніе канала дѣлается посредствомъ другого сооруженія, хотя правда и сопровождается нѣкоторымъ стѣсненіемъ судоходства.

Питаніе канала отъ Роана до Дигуана водами рѣки Луары.—Займствованіе воды изъ р. Луары у Роана является интереснымъ примѣромъ примѣненія вышеизложенныхъ соображеній (рис. 89).



Луара въ мѣстѣ, запруженномъ подвижной плотин<sup>ой</sup> у Роана, находится въ сообщеніи съ большимъ бассейномъ длиною въ 800 и шириною въ 80 метровъ, который образуетъ гавань Роана. Въ проходѣ между бассейномъ и рѣкой помѣщаются ворота, закрываемыя только при очень высокихъ водахъ; ширина прохода достаточна для свободнаго движенія судовъ изъ рѣки въ бассейнъ и обратно.

Въ концѣ бассейна, при входѣ въ первый бьефъ канала, находится камерный шлюзъ. Нормальный горизонтъ воды, поддерживаемый плотиною на высотѣ 268,42, находится на одинаковомъ уровнѣ съ горизонтомъ воды въ бассейнѣ; уровень дна послѣдняго имѣетъ отмѣтку 265,82. Нормальный горизонтъ воды и уровень дна на первомъ бьефѣ находится соотвѣтственно [на высотѣ 267,82 и 265,62. Легко понять, какія выгоды получаютъ отъ такого взаимнаго положенія бассейна и перваго бьефа.

Измѣненія горизонта воды въ Луарѣ отражаются только въ бассейнѣ и не могутъ распространяться въ первый бьефъ канала. Такое большое пониженіе дна бассейна (2,60 метр. = 268,42—265,82) подъ нормальнымъ подпорнымъ горизонтомъ дѣлается на случай возможности пониженій этого горизонта при опусканіи подвижной плотины, а также съ цѣлью постояннаго сохраненія достаточной глубины въ бассейнѣ.

Далѣе, взвѣшennыя частицы рѣчной воды почти вполнѣ отлагаются въ самомъ бассейнѣ, откуда онѣ удаляются періодически землечерпаніемъ съ большимъ удобствомъ, чѣмъ въ самомъ каналѣ.

Если же, несмотря на существованіе бассейна, въ первомъ бьефѣ канала все-таки отлагаются наносы, то тогда можно здѣсь поднять горизонтъ воды, не вызывая этимъ затрудненій въ питаніи, такъ какъ между нормальными уровнями воды въ бассейнѣ и въ первомъ бьефѣ существуетъ разность въ 0,60 метр.; она позволяетъ поднять въ этомъ бьефѣ горизонтъ воды также съ цѣлью сберечь нѣкоторый добавочный объемъ воды для облегченія питанія нижележащихъ бьефовъ.

Второстепенные попуски воды для питанія изъ водохранилищъ, расположенныхъ вдоль канала.—Если отъ главнаго заимствованія воды въ началѣ канала мы перейдемъ теперь къ второстепеннымъ заимствованіямъ, то сразу встрѣтимся съ совершенно новыми условіями.

Въ самомъ дѣлѣ, мы уже говорили выше, что боковые каналы, оставляя естественный водный потокъ, вдоль долины котораго они слѣдуютъ, соединяются съ рѣкой посредствомъ отдѣльныхъ отвѣтвленій, обслуживающихъ коммерческіе центры, располагающіеся въ этой долинѣ; какъ на примѣръ укажемъ на боковой каналъ Луары, имѣющій отдѣльныя вѣтви у Decize, Nevers, Fourchambault и Saint-Satur.

При такомъ взаимномъ положеніи рѣки и бокового канала можно было-бы воспользоваться для дополнительнаго питанія также самимъ естественнымъ воднымъ потокомъ, отводя изъ него воды посредствомъ питающихъ каналовъ, но такое рѣшеніе вопроса въ большинствѣ случаевъ является довольно несовершеннымъ. Питающіе каналы расположились-бы въ области разлива и въ проливаемыхъ грунтахъ, которыхъ желательно вообще избѣгать при сооруженіи каналовъ. Онѣ проходили-бы въ наиболѣе богатыхъ и населенныхъ мѣстно-



стяхъ. Наконецъ, ихъ сооруженіе представило-бы тѣмъ болѣе затрудненій, чѣмъ ниже пришлось бы спускаться въ долину, такъ какъ паденіе рѣки обыкновенно идетъ постепенно уменьшаясь, а склоны долины все болѣе и болѣе отдаляются отъ меженного русла рѣки.

Это рѣшеніе вопроса должно быть принято лишь въ томъ случаѣ, когда нельзя найти другого способа питанія. Во всѣхъ отношеніяхъ предпочтительнѣе, всякій разъ когда представляется для этого возможность, заимствовать воду для питанія изъ притоковъ главнаго воднаго потока. Заимствованіе воды изъ этихъ притоковъ дѣлается выше ихъ встрѣчи съ каналомъ, что и опредѣляетъ собой направленіе питающихъ каналовъ.

Питающіе каналы.—Питающіе каналы имѣютъ своей цѣлью служить для проведенія къ началу нѣкоторой группы бьефовъ достаточнаго количества воды для пополненія различнаго рода потерь. Эти питающіе каналы, на основаніи указанныхъ выше соображеній, располагаются по склонамъ второстепенныхъ долинъ и имѣютъ по большей части своимъ единственнымъ назначеніемъ давать по возможности правильный пропускъ опредѣленному расходу воды.

Однако нѣкоторые питающіе каналы были сдѣланы судоходными на всемъ своемъ протяженіи или только въ нѣкоторой части и образуютъ такимъ образомъ отвлѣченія каналовъ. Къ числу такихъ питающихъ каналовъ принадлежатъ, напримѣръ, питающій каналъ de la Bèbre между Dompierre и боковымъ каналомъ Луары и питающій каналъ de l'Argroux, между Gueugnon и каналомъ du Centre. Такіе питающіе каналы, устраиваются по тѣмъ же правиламъ, какъ и судоходные каналы, и мы на нихъ не будемъ дальше останавливаться.

Напротивъ, мы остановимся на тѣхъ питающихъ каналахъ, которые играютъ исключительно роль водопровода и которые устраиваются поэтому иначе, чѣмъ судоходные каналы. Однако, предварительно сдѣлаемъ слѣдующее замѣчаніе. Питающіе каналы, устраиваемые для питанія боковыхъ каналовъ, имѣютъ обыкновенно небольшую длину. Поэтому ихъ устройство обыкновенно не представляетъ ни затрудненій, ни интересныхъ особенностей. Напротивъ совершенно съ другими условіями приходится считаться при сооруженіи каналовъ для питанія раздѣльныхъ бьефовъ нѣкоторыхъ каналовъ съ раздѣльной точкой. Эти питающіе каналы часто достигаютъ значительной длины: такъ напримѣръ, питающій каналъ de Saint-Privé, благодаря которому воды du Loing впускаются въ раздѣльный бьефъ канала de Briare, имѣютъ длину болѣе 20 километровъ; питающій каналъ отъ Іонны къ раздѣльному бьефу канала du Nivernais достигаетъ 29 километровъ длины. Эти питающіе каналы проходятъ часто въ очень неровной мѣстности, вслѣдствіе чего устройство ихъ требуетъ большихъ искусственныхъ сооруженій. Такъ напримѣръ, питающій каналъ отъ Іонны имѣетъ много мостовъ—водопроводовъ на сводахъ, изъ которыхъ одинъ, именно мостъ-водопроводъ de Montreuillon, достигаетъ длины болѣе 145 метр. при высотѣ въ 33 метра.

Расходъ воды въ питающихъ каналахъ.—Въ своемъ трудѣ «Cours de navigation intérieure» Guillemain выставляетъ, если и не въ видѣ безусловнаго правила, то по крайней мѣрѣ въ формѣ желательнаго требованія, условіе, чтобы каждая группа бьефовъ, питаемая самостоятельно, никогда не требовала болѣе одного кубическаго метра воды въ среднемъ въ секунду. Онъ прибавляетъ од-



нако, что было бы ошибочно думать, чтобы такое количество воды можно было считать достаточнымъ для расхода въ самомъ питающемъ каналѣ.

Въ самомъ дѣлѣ, съ одной стороны, средній, правильный притокъ одного кубическаго метра соотвѣтствуетъ то большому, то меньшему расходу, въ зависимости отъ необходимаго колебанія горизонтовъ бьефовъ. Поэтому, питающій каналъ долженъ доставлять по крайней мѣрѣ 1,50 куб. метр. въ секунду при своемъ впаденіи въ каналъ, если группа питаемыхъ имъ бьефовъ требуетъ въ среднемъ 1 кубическій метръ.

Съ другой стороны, питающіе каналы, какъ и судоходные каналы, имѣютъ свои потери вслѣдствіе испареній, фильтрацій и всасыванія, неправильныхъ маневровъ, такъ что для обезпеченія расхода въ 1,50 куб. метр. въ концѣ питающаго канала необходимо въ началѣ его имѣть гораздо больший расходъ.

Кромѣ того, въ случаѣ прекращенія питанія черезъ одинъ изъ каналовъ, необходимо имѣть возможность возмѣстить эту потерю увеличеніемъ расхода въ остальныхъ питающихъ каналахъ, продолжающихъ функціонировать.

Наконецъ, въ случаѣ наполненія канала послѣ прекращенія судоходства, желательно, если только это допускаетъ расходъ водныхъ потоковъ, доводить до maximum'a объемъ воды, выпадающій въ бьефы.

Къ тому же издержки по сооруженію растутъ въ гораздо меньшей пропорціи, чѣмъ пропускаемый питающимъ каналомъ расходъ воды, или даже чѣмъ его поперечное сѣченіе; поэтому, всякій разъ, когда позволяетъ расходъ воды въ притокахъ, слѣдуетъ устраивать питающіе каналы такъ, чтобы ихъ наибольший расходъ могъ быть доведенъ по крайней мѣрѣ до двойного или лучше тройнаго расхода, необходимаго для питанія канала при нормальномъ положеніи горизонта. Съ другой стороны, если принять во вниманіе, что второстепенные водные потоки, позволяющіе безъ затрудненій во всякое время дѣлать заимствованія въ 3 куб. метра въ секунду, встрѣчаются рѣдко, мы придемъ чаще всего къ тому заключенію, что питающій каналъ долженъ быть устроенъ такъ, чтобы онъ могъ пропускать весь расходъ, который можно заимствовать изъ рѣки при низкихъ водахъ.

Опредѣляя такимъ путемъ въ каждомъ частномъ случаѣ расходъ воды въ питающемъ каналѣ, на основаніи этой опредѣленной величины вычисляютъ поперечное сѣченіе и паденіе.

Допускаемая скорость воды. Допускаемая скорость воды опредѣляется въ разсматриваемомъ случаѣ уже не въ зависимости отъ условій судоходства, но на основаніи другихъ соображеній. Она должна быть не менѣе 0,30 метр. въ секунду во избѣжаніе засоренія русла травой. Присутствіе послѣдней уменьшаетъ сѣченіе и расходъ и, слѣдовательно, въ значительной степени можетъ препятствовать правильному функціонированію питающаго канала. Лучшимъ средствомъ предотвратить возможность такого засоренія является обсадка береговъ кустарникомъ (напримѣръ, ивой), вѣтви котораго даютъ значительную тѣнь, препятствующую развитію водныхъ растений; послѣднее явленіе объясняется тѣмъ, что развитіе растительности совершается тѣмъ скорѣе чѣмъ въ большей степени вода нагрѣвается подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей. Эту послѣднюю мѣру предосторожности очень полезно примѣнять вообще на всѣхъ питающихъ каналахъ. Если съ одной стороны средняя скорость не должна быть



меньше 0,30 метра, то съ другой стороны она не должна превосходить величины, соотвѣтствующей сопротивленію откосовъ въ зависимости отъ рода грунта. Такимъ образомъ, сообразуясь съ природой пересекаемыхъ грунтовъ, выбираютъ скорость между этими двумя предѣлами. Вообще можно считать нормальной скорость 0,50 метра.

Площадь живого сѣченія. Имѣя данными расходъ воды, который желаютъ получить въ питающемъ каналѣ, и выбранную среднюю скорость, легко опредѣлить размѣры поперечнаго сѣченія, которому обыкновенно даютъ форму трапеціи, при чемъ уклонъ откосовъ измѣняется въ зависимости отъ рода пересекаемыхъ грунтовъ между одиночнымъ и полуторнымъ. Обѣ боковыя дамбы возвышаются на 0,40—0,60 метровъ надъ меженнымъ горизонтомъ воды въ питающемъ каналѣ. Ширина дамбъ должна быть не менѣе 2 метровъ, и по крайней мѣрѣ одна изъ нихъ должна быть достаточно широка для возможности проѣзда одной телѣги. Отказаться отъ этого удобства въ видахъ экономіи по сооруженію значило бы вызвать въ будущемъ серьезныя затрудненія въ эксплуатациіи.

На рисунокѣ 90 представлено для примѣра поперечное сѣченіе питающаго канала Юнны (въ каналѣ du Nivernais), при чемъ часть сѣченія проходитъ въ насыпи, часть въ выемкѣ. Со стороны насыпи дамба имѣетъ по верху ширину въ 3 метра, чего вполне достаточно для проѣзда одной телѣги. Со стороны нагорной, въ выемкѣ, имѣется только дорога для пѣшеходовъ шириною въ 0,75 метр., защищенная канавой шириною по верху въ 0,75 метр. и глубиною въ 0,25 метр.

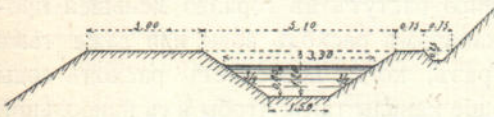


Рис. 90.

Паденіе питающихъ каналовъ.—Имѣя расходъ и живое сѣченіе, которое опредѣляетъ собой средній подводный радіусъ, мы можемъ по формуламъ найти паденіе, соотвѣтствующее выбранной скорости, и такимъ образомъ выполнить самую трасировку. Слѣдуетъ замѣтить, что формулы гидравлики здѣсь вполне примѣнимы, такъ какъ въ данномъ случаѣ приходится имѣть дѣло съ правильными поперечными сѣченіями, и именно съ такими питающими каналами и было произведено много опытовъ, послужившихъ для вывода такихъ формулъ, какъ на примѣръ формулы Bazin'a.

Вычисленное такимъ путемъ паденіе измѣняется въ очень широкихъ предѣлахъ. Паденіе въ 0,16 метр. на 1 километръ можно разсматривать, какъ minimum, и его рѣдко дѣлають болѣе 0,50 метр. Нѣтъ никакой необходимости дѣлать паденіе одинаковымъ по всей длинѣ питающаго канала. Ничто не мѣшаетъ въ трудныхъ проходахъ увеличивать паденіе съ цѣлью уменьшить сѣченіе, сохраняя только величину расхода. Въ искусственныхъ сооруженіяхъ можно такимъ путемъ уменьшить ширину русла и, слѣдовательно, уменьшить такъ-же и количество кладки.

Такъ на примѣръ, при постройкѣ питающаго канала Юнны для питанія канала du Nivernais русло въ искусственныхъ сооруженіяхъ было сдѣлано въ видѣ прямоугольника шириною только въ 2 метра и глубиною въ 0,80 метра, но за то паденіе было увеличено въ два раза противъ величины, соотвѣтству-



ющей меженнему расходу, что было сдѣлано съ цѣлью сохранить при этихъ уменьшенныхъ размѣрахъ тотъ-же расходъ, что и для нормального сѣченія. Инженеръ Charrié-Marsaines довелъ свою осторожность до того, что увеличилъ паденіе при подходахъ къ сооруженнымъ на этомъ питающемъ каналѣ большимъ мостамъ—водопроводамъ, благодаря чему обезпечивался пропускъ воды при самомъ высокомъ горизонтѣ.

Общее описаніе искусственныхъ сооружений.— Питающіе каналы, начинаясь съ заранѣе опредѣленнаго уровня, поднимаются по назначенному направленію съ болѣе или менѣе постояннымъ уклономъ до встрѣчи съ воднымъ потокомъ, изъ котораго они заимствуютъ свой расходъ. При трассировкѣ этихъ каналовъ инженеру вообще приходится встрѣчаться съ довольно сложными затрудненіями. Мы уже указывали выше на мостъ-каналъ de Montreuillon, какъ на примѣръ исключительно большихъ искусственныхъ сооружений въ питающихъ каналахъ.

Во всякомъ случаѣ, сооружения для заимствованія воды, тоннели, мосты, мосты-водопроводы, водопроводы и проч., встрѣчающіеся при сооруженіи питающихъ каналовъ, отличаются отъ подобныхъ сооружений на каналахъ только размѣрами русла; поэтому нѣтъ нужды подробно останавливаться на ихъ конструкціи. Ограничимся здѣсь замѣчаніемъ, что сооружения при встрѣчѣ съ грунтовыми путями или водными потоками представляютъ для питающихъ каналовъ менѣе



Рис. 91.

затрудненій, чѣмъ для судоходныхъ каналовъ, такъ какъ здѣсь нѣтъ никакой надобности устраивать подъ выше лежащимъ сооруженіемъ свободный пролетъ для пропуска судовъ; здѣсь достаточно того, чтобы вода въ питательномъ каналѣ протекала безъ стѣсненія. Последнее обстоятельство значительно упрощаетъ рѣшеніе вопроса о сохраненіи нѣкоторыхъ источниковъ, имѣющихъ хотя и не большой расходъ, но эксплуатируемыхъ съ какой нибудь цѣлью, на примѣръ для орошенія, вслѣдствіе чего отведеніе ихъ могло бы потребовать уплаты значительнаго вознагражденія. Мы уже говорили, что трассировка питающихъ каналовъ связана съ неизбежными затрудненіями. Иногда приходится вести каналъ вдоль крупнаго косогора и дѣлать русло на болѣе или менѣе значительномъ протяженіи изъ каменной кладки съ цѣлью дать ему прямоугольное сѣченіе и тѣмъ уменьшить ширину. Въ другихъ мѣстахъ водопроницаемость грунта требуетъ примѣненія кладки или другихъ работъ для достиженія непроницаемости, Тѣ способы, которые были разсмотрѣны нами при описаніи судоходныхъ каналовъ, находятъ здѣсь также свое примѣненіе. Такъ, на примѣръ, при сооруженіи питающихъ каналовъ часто примѣняютъ слой гидравлическаго бетона; разница въ устройствѣ сравнительно съ судоходными каналами заключается въ томъ, что здѣсь нѣтъ опасности ни отъ толчковъ и тренія судовъ, ни отъ ударовъ багровъ или шестовъ, примѣняемыхъ судами, а потому нерѣдко совсѣмъ отказываются отъ покрытія верхнимъ землянымъ слоемъ. Такимъ путемъ полу-



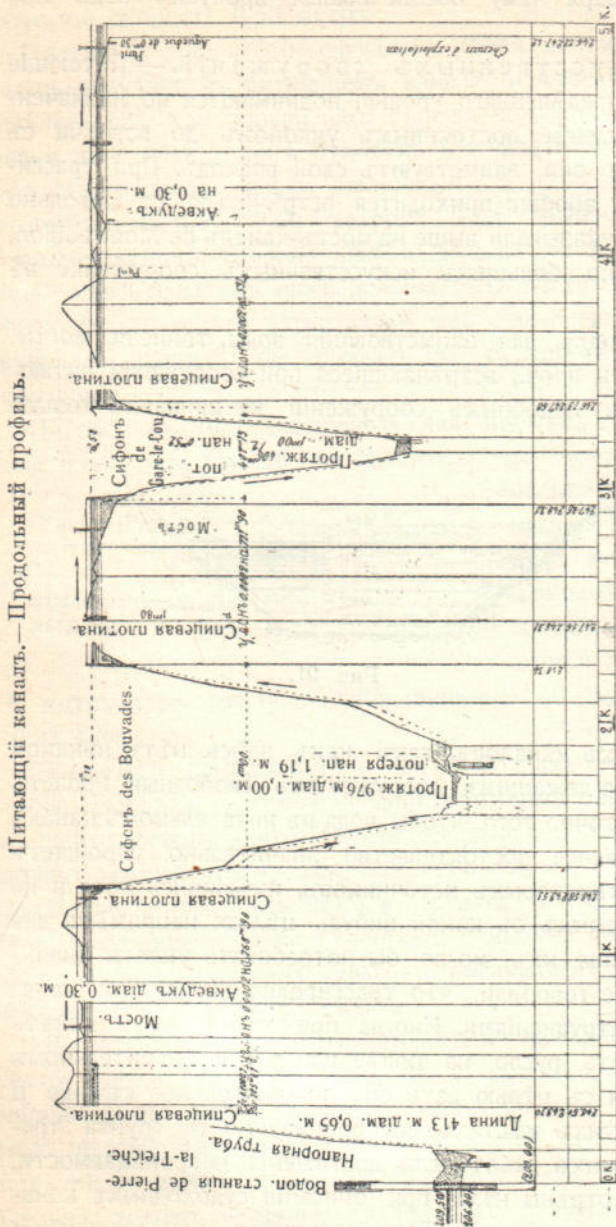
чается экономія при первоначальномъ сооруженіи и облегченіе для исправнаго содержанія. На рис. 91 представлено сѣченіе, примѣненное въ части питающаго канала Saint-Privé (каналъ Бриары).

Искусственные сооруженія, спеціально примѣняемые на питаю-

щихъ каналахъ. — Слѣдуетъ подробнѣе остано-  
виться на нѣкоторыхъ искус-  
ственныхъ сооруженіяхъ,  
спеціально примѣняемыхъ  
на каналахъ, въ особенности  
на сифонахъ, которые все  
болѣе и болѣе входятъ въ  
употребленіе при пересѣ-  
ченіи долинъ.

Въ прежнее время это пересѣченіе достигалось исключительно посредствомъ мостовъ-водопроводовъ; однако, постройка этихъ сооружений, какъ бы она ни была экономична, обходится всетаки очень дорого; кромѣ того они имѣютъ тѣ же недостатки, что и мосты каналы, подвергаясь разрушающему дѣйствию морозовъ. Эти недостатки тѣмъ болѣе чувствительны, что мосты - водопроводы находятся часто въ малодоступной мѣстности вдали отъ судоходнаго пути, что значительно затрудняетъ наблюдение за исправнымъ состояніемъ этихъ сооружений.

Въ настоящее время все чаще и чаще склоняются къ замѣнѣ ихъ другими, болѣе скромными, но зато и болѣе экономичными сооружениями, свободными





профиля питающего канала (рис. 92). Однако, слѣдуетъ замѣтить, что увеличение паденія на большихъ мостахъ-водопроводахъ, или даже при подходахъ къ нимъ, имѣло, по крайней мѣрѣ до нѣкоторой степени, тотъ же результатъ.

Трубы употребляются здѣсь желѣзныя, чаще чугунныя или желѣзобетонныя, діаметромъ въ 0,80 или 1,00 метръ. Трубы большаго діаметра представляютъ большія затрудненія при укладкѣ ихъ на крутыхъ склонахъ и кромѣ того вызываютъ значительную осадку, могущую повлечь за собой переломъ трубъ во время дѣйствія водопровода.

Если одной трубы недостаточно, берутъ нѣсколько трубъ, пропускающихъ требуемый расходъ воды. Вообще, при одинаковомъ расходѣ воды всегда лучше имѣть двѣ трубы, чѣмъ одну, чтобы въ случаѣ порчи въ одной линіи водопровода можно было бы хоть отчасти возмѣстить ее дѣйствіемъ другой.

Что касается конструкціи сифоновъ, то здѣсь слѣдуетъ указать на слѣдующія двѣ существенныя части этихъ сооружений, именно на головы сифоновъ и на щитовые затворы, дѣлаемые въ нижней части сифоновъ.

Головы сифоновъ открываются въ широкіе бассейны, вымощенные камнемъ, служащіе для очищенія воды отъ землистыхъ частицъ, которыя она несетъ во взвѣшенномъ состояніи. Трубы соединяются со стѣнками бассейновъ посредствомъ раструбовъ, устраиваемыхъ въ небольшихъ стѣнкахъ, поддерживающихъ концы трубъ (рис. 93).

Съ цѣлью экономіи очень часто пытались помѣщать эти головы въ насыпи; однако, насыпь даетъ мѣсто фильтраціямъ, и такое расположеніе является не безопаснымъ, вслѣдствіе чего, не смотря на возрастаніе расходовъ, необходимо помѣщать головы въ выемкѣ или по крайней мѣрѣ въ уровнѣ естественной земли.

Что касается щитовыхъ затворовъ, то они помѣщаются въ нижней части водопроводовъ и служатъ для ихъ опорожненія при порчѣ или въ какомъ нибудь другомъ случаѣ. Они устраиваются обыкновенно внутри колодцевъ, позволяющихъ проникнуть внутрь рабочему для осмотра и въ случаѣ надобности и чистки. Отверстіе щитового затвора помѣщается, противъ отверстія колодца (рис. 94). На рис. 93 и 94 показано устройство сифоновъ въ питающихъ каналахъ канала отъ Марны къ Рейну и канала de l'Est. Подробное описаніе этихъ сооружений и примѣры различныхъ работъ, связанныхъ съ устройствомъ питающихъ каналовъ, можно найти въ работѣ Alfred'a Picard'a, посвященной вопросу о питаніи этихъ двухъ судоходныхъ путей.

Какъ на особенность въ устройствѣ питающихъ каналовъ слѣдуетъ указать еще на особые сооружения, позволяющія легко провѣрить расходъ воды.

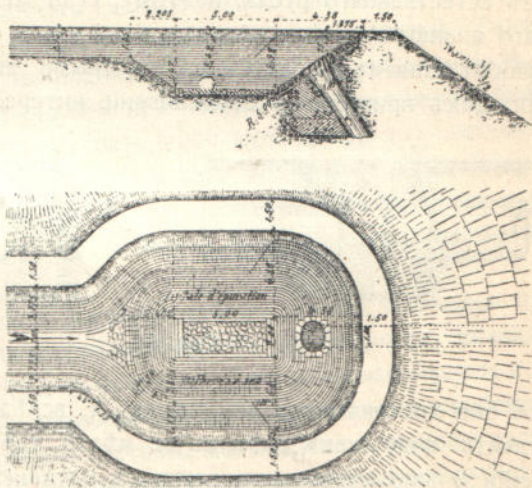


Рис. 93.



Такъ какъ питающіе каналы должны доставлять въ каналъ достаточное количество воды, то желательно, въ особенности въ періодъ засухи, имѣть возможность провѣрить, выполняютъ ли они соотвѣствующимъ образомъ свое назначеніе. Отсюда вытекаетъ полезность въ устройствѣ на опредѣленныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, въ самомъ руслѣ или сбоку его, регулирующихъ сооружений, позволяющихъ въ данный моментъ быстро, хотя бы и приблизительно, измѣрить расходъ, напримѣръ, посредствомъ спуска воды черезъ небольшую подвижную плотину. Такимъ путемъ можно прослѣдить за движеніемъ воды, узнать, какія части питающихъ каналовъ теряютъ воду, а также найти тѣ пункты, въ которыхъ необходимо произвести спеціальныя изслѣдованія или выполнить работы по устраненію фильтраціи. Такое измѣреніе расхода особенно полезно въ начальныхъ и конечныхъ пунктахъ питающихъ каналовъ.

Питающіе каналы представляютъ собой обыкновенно полное отведеніе воды изъ естественнаго русла; поэтому, если желаютъ избѣгнуть уплаты значительнаго вознагражденія, слѣдуетъ относиться съ большимъ вниманіемъ къ правамъ, приобрѣтеннымъ на эту воду частными лицами, избѣгая всякихъ комбинацій, могущихъ привести въ столкновеніе интересы этихъ лицъ и государства.

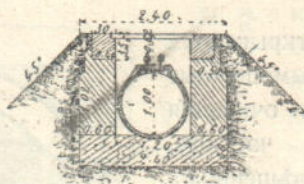
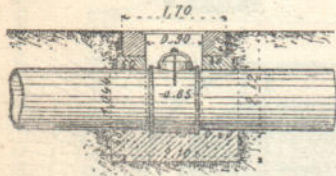


Рис. 94.

Какъ бы то ни было, питающіе каналы представляютъ собой цѣнное средство для питанія не только вслѣдствіе значительности того количества воды, кото-

рое они доставляютъ, но также и вслѣдствіе того, что они позволяютъ доставить воду какъ разъ въ то мѣсто, гдѣ она именно нужна. Въ этомъ отношеніи можно во многихъ случаяхъ улучшить систему питанія, продолжая питающій каналъ вдоль канала, что дало бы возможность питать отдѣльно различные бьефы одной и той же группы вмѣсто того, чтобы сразу впускать всю воду въ начальный бьефъ этой группы. Такимъ путемъ можно было бы выполнить одно, очень желательное, условіе эксплуатаціи каналовъ, именно сдѣлать питаніе независимымъ отъ судоходства.

Механическія приспособленія для подъема воды изъ одного бьефа въ другой. Этотъ способъ можетъ быть примѣненъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ съ выгодой. Многіе инженеры примѣняли этотъ способъ въ случаяхъ исключительной засухи, устраивая лишь временныя сооружения такого рода, но можно указать, въ видѣ примѣра, на замѣчательное сооруженіе, построенное въ 1897 году на Бургундскомъ каналѣ для питанія трехъ послѣднихъ бьефовъ склона рѣки Соны, гдѣ пользовались для этого водой, заимствуемой изъ этой рѣки и поднимаемой послѣдовательно, отъ одного бьефа къ другому.

Только что упомянутые три бьефа общей длиною въ 7 километровъ устроены въ песчаной равнинѣ, гдѣ каналъ теряетъ большое количество воды вслѣдствіе фильтрацій, и кромѣ того они представляли особенную трудность для питанія еще и потому, что были наиболѣе удалены отъ послѣднихъ возможныхъ источниковъ воды, заимствуемыхъ изъ сосѣднихъ рѣкъ и ручьевъ.



Количество воды, которое берется изъ Соны для питанія этихъ трехъ бьефовъ канала и распредѣляется въ зависимости отъ ихъ потребностей, достигаетъ величины 15.000 куб. метр. въ день.

Въ 2-хъ километрахъ отъ устья канала, ниже его, на Сонѣ устроена плотина, поддерживающая нормальный подпоръ въ 1,50 метра при минимальномъ расходѣ воды въ 10 куб. метровъ въ секунду; такимъ образомъ здѣсь имѣется гидравлическая сила, которой воспользовались для устройства гидро-электрической станціи.

Электрическая энергія посылается къ конечнымъ шлюзамъ трехъ упомянутыхъ бьефовъ въ формѣ трехъ-фазнаго тока высокаго напряженія (2.000 вольтъ).

Противъ каждого шлюза установленъ трансформаторъ, преобразующій токъ напряженія въ 2000 вольтъ въ токъ съ напряженіемъ въ 110 вольтъ, и уже этотъ токъ съ меньшимъ напряженіемъ приводитъ въ дѣйствіе электрической моторъ, управляющій движеніемъ центробѣжнаго насоса. Этотъ послѣдній всасываетъ воду въ нижнемъ бьефѣ и подниметъ ее въ верхній. Такимъ путемъ можно въ теченіе одного дня поднять: изъ Соны въ послѣдній бьефъ канала (паденіе ровно 3,70 метра) 15.000 куб. метр.; изъ послѣдняго бьефа въ предпослѣдній (паденіе въ—2,60 метра) 6.000 куб. метр.; изъ предпослѣдняго въ вышележащій бьефъ (паденіе—2,60 метр.) 3.000 куб. метр. Благодаря такой системѣ питанія три бьефа могли быть снабжаемы водой въ періодъ самой сильной засухи, не прибѣгая къ заимствованію воды изъ вышележащей части канала.

Годовое количество воды, доставляемой въ каналъ благодаря этому способу питанія, въ среднемъ исчисляется отъ одного до полутора милліона куб. метровъ. Сооруженіе стоило 80.000 франковъ. Считая на исправленія и ремонтъ 2% капитала, затраченнаго на первоначальное сооруженіе, и прибавляя сюда 400 франковъ расходовъ на личный составъ, мы получаемъ годовой расходъ въ 2.000 франковъ, что даетъ 0,002 франковъ (maximum) на одинъ кубич. метръ воды, поднимаемой на среднюю высоту въ 5,26 метр.<sup>1)</sup>

Каналы съ раздѣльной точкой. Вопросъ о питаніи, очень важный для боковыхъ каналовъ, становится безусловно первостепеннымъ для каналовъ съ раздѣльной точкой.

Всякій другой вопросъ находится въ полной зависимости отъ этого вопроса. Для эксплуатаціи канала первымъ условіемъ является достаточное количество воды; и не только достаточное, но можно сказать даже, что вода нужна въ изобиліи.

Такой выводъ вытекаетъ изъ разсмотрѣнія недостатковъ въ питаніи различныхъ судоходныхъ путей, построенныхъ самыми опытными инженерами. То жеженній расходъ естественныхъ источниковъ уменьшился; то часть воды, на

<sup>1)</sup> Средняя высота подъема равна:

$$\frac{9.000 \times 3,70 + 3.000 \times (3,70 + 2,60) + 3.000 \times (3,70 + 2,60 + 2,60)}{15.000} =$$
$$\frac{78.000}{15.000} = 5,26 \text{ метр.}$$



которую, какъ полагали, можно разсчитывать, была затрачена съ цѣлью орошенія; въ другихъ случаяхъ грузооборотъ канала возросъ сверхъ всякихъ ожиданій, или самая глубина канала потребовала увеличенія для согласованія ея съ новыми требованіями судоходства и проч.

Что достовѣрно извѣстно, такъ это—то, что повсюду потребовалось увеличеніе первоначальныхъ источниковъ, часто цѣною большихъ издержекъ, и даже на самыхъ важныхъ судоходныхъ путяхъ питаніе раздѣльнаго бьефа не всегда было обеспечено настолько, насколько это было бы желательно.

Въ самомъ дѣлѣ, легко понять, что этотъ бьефъ, будучи расположенъ въ высшей точкѣ, не можетъ располагать тѣми источниками, которые доставляетъ боковымъ каналамъ заимствованіе воды, сдѣланное въ ихъ началѣ, и, несмотря на это, онъ долженъ удовлетворять исключительнымъ требованіямъ въ отношеніи питанія. Прежде всего потери въ раздѣльномъ бьефѣ обыкновенно бываютъ очень значительны. Эти бьефы приходится частью дѣлать въ скалистомъ грунтѣ съ трещинами, которыя пропускаютъ большое количество воды и кромѣ того, принимая во вниманіе возможныя измѣненія уровня воды, а слѣдовательно, и глубины, нормальная величина послѣдней дѣлается обыкновенно больше, чѣмъ въ другихъ бьефахъ, въ результатѣ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, получается увеличеніе потерь.

Далѣе, шлюзы, располагающіеся на концахъ раздѣльнаго бьефа, суть вмѣстѣ съ тѣмъ головные пліузы двухъ склоновъ, и всѣ суда, переходящія съ одного склона на другой, заимствуютъ изъ этого бьефа два объема воды, требуемыхъ для наполненія шлюзовъ. При исчисленіи расходовъ воды въ обыкновенномъ бьефѣ берутъ разность расходовъ двухъ конечныхъ шлюзовъ; для раздѣльнаго бьефа слѣдуетъ брать сумму этихъ расходовъ.

Наконецъ, этотъ бьефъ долженъ на каждомъ склонѣ покрывать расходъ въ бьефахъ, отдѣляющихъ его отъ первыхъ значительныхъ источниковъ воды для питанія; за этими предѣлами, ниже, условія питанія таковы-же, какъ и въ боковомъ каналѣ. Но въ вышележащей части склоновъ каналъ обыкновенно располагается вдоль болѣе узкихъ долинъ, имѣющихъ болѣе значительное паденіе и болѣе крутые склоны, вслѣдствіе чего условія трассировки не такъ легко даютъ возможность избѣжать большихъ потерь.

Таковы составныя части расхода воды въ раздѣльномъ бьефѣ; совокупность этихъ частей составляетъ то наименьшее количество воды, которое необходимо для его питанія. Этотъ minimum долженъ быть исчисленъ съ большимъ запасомъ, принимая во вниманіе возрастаніе потребностей въ будущемъ, и долженъ быть обеспеченъ даже въ самое сухое время года, такъ какъ это время обыкновенно совпадаетъ съ періодомъ наиболѣе интенсивной навигаціи.

Постоянные источники воды. На высотѣ расположенія раздѣльнаго бьефа источники обыкновенно бываютъ бѣдны водой въ лѣтнее время; какъ бы ни былъ однако малъ даваемый ими расходъ, не слѣдуетъ пренебрегать ими, такъ какъ они составляютъ наиболѣе дешевый запасъ питательной воды, и поэтому первой задачей является изученіе режима водныхъ потоковъ, расположенныхъ выше уровня раздѣльнаго бьефа, въ сосѣдней съ нимъ гористой мѣстности. Каждый изъ этихъ водныхъ потоковъ долженъ быть подвергнутъ по возможности продолжительнымъ наблюденіямъ, съ цѣлью опредѣ-



лить какъ средній расходъ, такъ и въ особенности меженній расходъ во время наиболѣе сухихъ лѣтъ. Такимъ путемъ опредѣлится первоначальный, могущій быть использованнымъ, запасъ воды; при этомъ, конечно, слѣдуетъ сообразовываться съ потребностями той долины, изъ которой заимствуется вода. Въ самомъ дѣлѣ, часто случается, что водные потоки, которые можно было бы отвести для питанія канала, приводятъ въ дѣйствіе рядъ заводовъ, устроенныхъ вдоль ихъ и утилизирующихъ въ общей сложности значительную энергію.

Упразднить или даже видоизмѣнить эти сооруженія было бы рискованно въ смыслѣ необходимости уплаты значительнаго вознагражденія.

Къ послѣднему средству слѣдуетъ прибѣгать въ случаѣ крайней необходимости и лишь послѣ вполнѣ точнаго ознакомленія съ цѣнностью заводовъ и правъ, которыми они владѣютъ.

Уплата вознагражденія при ликвидаціи заводовъ долины de l'Ornain, съ цѣлью заимствованія воды для питанія канала отъ Марны къ Рейну, можетъ служить примѣромъ тѣхъ трудностей, которыя связаны съ этимъ дѣломъ; она продолжалась болѣе 10 лѣтъ и въ цѣломъ составила сумму въ 1.200.000 фр.

Аналогичное замѣчаніе относится къ требованіямъ орошенія, такъ какъ было бы неблагоразумно относиться съ невниманіемъ къ нуждамъ земледѣлія, которыя нашли бы вліятельныхъ защитниковъ на всѣхъ ступеняхъ администраціи.

Поэтому, всюду слѣдуетъ стараться брать только избытокъ водъ; при необходимости дѣйствовать иначе, надо предварительно вычислить на основаніи неоспоримыхъ данныхъ, при невозможности полюбовной сдѣлки, общую сумму вознагражденія обладателямъ правъ на воду.

Какъ бы тамъ ни было, ежедневныя потребности питанія извѣстны; по крайней мѣрѣ извѣстны тѣ основанія, по которымъ мы можемъ отдать себѣ отчетъ въ этихъ потребностяхъ. Съ другой стороны, ежедневный расходъ воды постоянныхъ источниковъ можетъ быть вычисленъ, какъ мы уже говорили, путемъ наблюденій. Если изъ этого количества вычесть тотъ минимальный объемъ воды, который необходимо оставить въ различныхъ водныхъ потокахъ для соблюденія существующихъ правъ на воду, то остатокъ представить собой запасъ воды, которымъ можно располагать для питанія. Этотъ остатокъ будетъ равенъ нулю, недостаточенъ или достаточенъ, соотвѣтственно чему постоянныя воды, питающія каналъ, называются низкими, средними или высокими. Такимъ путемъ М. Сомоу для канала du Centre нашель, что постоянныя воды являются:

низкими	втеченіе . . . . .	120 дней
средними	» . . . . .	85 »
высокими	» . . . . .	160 »

Отсюда онъ нашель, что объемъ воды, получаемый путемъ другихъ способовъ питанія, равенъ:

76.000 куб. метр. въ день втеченіе 120 дней, или въ цѣломъ 9.120.000 куб. метровъ и

30.000 куб. метр. въ день въ теченіе 85 дней, или въ цѣломъ 2.550.000 куб. метровъ, что въ совокупности даетъ 11.670.000 куб. метровъ. Заимствованія воды изъ постоянныхъ источниковъ часто располагаются очень далеко отъ ка-



нала, и тогда вода для питанія канала доставляется въ него посредствомъ питающаго канала болѣе или менѣе значительной длины. Мы уже говорили о такихъ питающихъ каналахъ въ первой части этой главы.

Въ случаѣ недостатка воды въ постоянныхъ источникахъ, для возмѣщенія его чаще всего прибѣгаютъ къ способу, состоящему въ томъ, что избытокъ воды въ дождливое время собираютъ и сохраняютъ въ специально устроенныхъ для этой цѣли водохранилищахъ, съ тѣмъ чтобы воспользоваться этой водой въ теченіе засухи для питанія канала.

Водохранилища.—Устройство водохранилищъ, въ виду важности этого вопроса, должно составить предметъ отдѣльной главы. Здѣсь мы займемся только опредѣленіемъ количествъ воды, которыя могутъ быть собраны въ этихъ водохранилищахъ.

Наблюденія, о которыхъ мы говорили выше, даютъ матеріалъ для этого опредѣленія. Если они дѣлаются втеченіе цѣлаго года съ достаточной непрерывностью, то они дадутъ возможность узнать, какъ избытокъ воды, который можетъ быть сбереженъ зимою, такъ и недостатокъ, который долженъ быть возмѣщенъ во время засухи. Съ другой стороны, опытъ доставляетъ данныя относительно той части количества дождевой воды, выпадающей въ бассейнѣ, питающемъ нѣкоторое водохранилище, которая можетъ быть въ него собрана.

Эта часть зависитъ прежде всего отъ водопроницаемости и, слѣдовательно, отъ геологическаго строенія, а также отъ характера даннаго бассейна; но она вмѣстѣ съ тѣмъ сильно измѣняется въ зависимости отъ состоянія почвы, то есть въ зависимости отъ ея сухости или насыщенности водой, или, наконецъ, полной непроницаемости, явившейся результатомъ дѣйствія мороза. Она измѣняется также сообразно съ природой и богатствомъ растительности.

Слѣдовательно здѣсь необходимо принять во вниманіе климатъ, время года, характеръ растительности и проч. Не слѣдуетъ также упускать изъ вида, что между моментомъ выпаденія дождя и моментомъ притеканія воды къ водохранилищу часто проходитъ довольно значительный промежутокъ времени; вслѣдствіе послѣдняго обстоятельства можетъ случиться, что количество воды, собранное, напримѣръ, въ продолженіе мѣсяца, окажется гораздо больше количества влаги, выпавшей втеченіе того же мѣсяца. Поэтому, соотношеніе между количествомъ собранной и выпавшей воды можетъ имѣть значеніе только въ томъ случаѣ, когда оно вычислено для достаточно продолжительнаго періода времени. Вполнѣ естественно вычислять его для одного года.

Равнымъ образомъ, изъ предыдущаго слѣдуетъ, что мы получили бы ошибочные результаты, если бы при составленіи проекта водохранилища разсуждали по аналогіи съ явленіями, происходящими въ сосѣднемъ или сходномъ съ даннымъ бассейнѣ, не имѣя непосредственныхъ и точныхъ данныхъ для того бассейна, въ которомъ устраивается новое водохранилище.

Слѣдуетъ также дѣлать различіе между тѣми водохранилищами, которыя исключительно и непосредственно служатъ для сбереженія водъ, выпадающихъ на склонахъ тѣхъ долинъ, въ которыхъ они устраиваются, и тѣми, которыя питаются также водами, предварительно собираемыми въ питающіе каналы, устраиваемые на склонахъ долинъ, не относящихся непосредственно къ данному водохранилищу.



Въ послѣднемъ случаѣ убыль значительно больше, чѣмъ въ первомъ. Такъ, напримѣръ, на каналѣ de Bourgogne отношенія количества собираемой воды къ количеству выпадающей равно 0,34 и 0,35 для двухъ водохранилищъ du Tillot и de Grosbois, которыя непосредственно получаютъ воду со склоновъ бассейновъ, между тѣмъ какъ для водохранилищъ, получающихъ воду черезъ посредство питающихъ каналовъ это отношеніе падаетъ до 0,24; 0,22; 0,17 и даже до 0,11.

Въ видѣ добавленія къ предыдущему можно сказать, что для водохранилищъ, получающихъ воду непосредственно со склоновъ бассейновъ, отношеніе количества собранной воды къ количеству выпавшей не бываетъ болѣе  $\frac{2}{3}$ , и это отношеніе падаетъ только въ исключительныхъ случаяхъ ниже  $\frac{1}{4}$ . Въ большинствѣ случаевъ оно бываетъ равнымъ  $\frac{1}{3}$ .

Нельзя считать полезнымъ, т. е. идущимъ на питаніе канала, все количество воды, собранное въ водохранилища. Нѣкоторая убыль происходитъ вслѣдствіе многихъ причинъ.

Прежде всего, чтобы попасть изъ водохранилища въ каналъ, вода должна пройти по питающимъ каналамъ большей или меньшей длины; при этомъ по пути происходятъ потери.

Затѣмъ слѣдуетъ принять въ расчетъ, что въ самихъ водохранилищахъ часть воды теряется вслѣдствіе испаренія, фильтраціи и т. п.

Испареніе можетъ временно уменьшить запасы воды въ случаѣ продолжительной и сильной засухи; но если разсматривать болѣе или менѣе продолжительный періодъ времени, напримѣръ равный одному году, то эта потеря можетъ быть компенсирована и даже съ избыткомъ дождевой водой, выпадающей на поверхности водохранилища.

Выше мы указывали на необходимость дѣлать различіе между абсолютнымъ испареніемъ и потерей вслѣдствіе испаренія, при чемъ мы указывали, что послѣдняя есть только разность между первой и высотой слоя выпавшаго дождя.

Мы дали также результаты нѣсколькихъ наблюденій, предпринятыхъ по этому предмету на каналахъ du Nivernais и de la Haute Yonne.

Въ Collancelle, т. е. вблизи водохранилищъ de Baye и de Vaux, которыя питали раздѣльный бѣефъ канала du Nivernais въ продолженіи 5 лѣтъ (1891—1895), абсолютное испареніе въ среднемъ равнялось 0,488 метр., тогда какъ высота слоя выпавшаго дождя достигла (также въ среднемъ) 0,757 метр.; слѣдовательно потеря вслѣдствіе испаренія была отрицательна. вмѣсто того чтобы понизиться, горизонтъ воды въ безусловно непроницаемомъ бассейнѣ, находящемся въ свободномъ соприкосновеніи съ воздухомъ, повысился бы втеченіе года въ среднемъ на 0,269 метр.

Въ водохранилищѣ des Settons въ 1894 г. абсолютное испареніе равнялось 0,769 метр., но высота слоя выпавшаго дождя достигла 1,410 метр., т. е. она превышала первую величину на 0,641 метр.

Тѣмъ не менѣе вѣрно то, что при вычисленіи количества воды, которое можетъ доставить водохранилище, въ случаѣ, когда площадь занимаемая водохранилищемъ заключается внутри площади питающихъ его бассейновъ, слѣдуетъ принимать въ расчетъ абсолютное испареніе.

Потери вслѣдствіе фильтраціи, всасыванія и проч. обыкновенно бываютъ здѣсь очень незначительны, такъ какъ, съ одной стороны, стараются дѣлать со-







ныхъ о результатахъ, достигнутыхъ этимъ способомъ питанія, о производительности, о стоимости подъема воды и т. п.

Питаніе раздѣльнаго бьефа канала Бриары. — Питаніе раздѣльнаго бьефа канала Бриары, заключеннаго между шлюзами de la Gazonne (склонъ Луары) и de la Javasière (склонъ Сены), даетъ замѣчательный примѣръ совмѣстнаго примѣненія различныхъ вышеуказанныхъ способовъ.

Карта мѣстности, воспроизведенная на рис. 95, 96 и 97, даетъ возможность легко уяснить даваемые ниже разъясненія.

Воды постоянныхъ источниковъ. — Раздѣльный бьефъ прежде всего получаетъ воду изъ рѣчки du Loing, доставляемую черезъ питающій каналъ de Saint-Privé (рис. 95).

Такъ какъ нѣкоторое количество воды всегда должно быть оставляемо въ

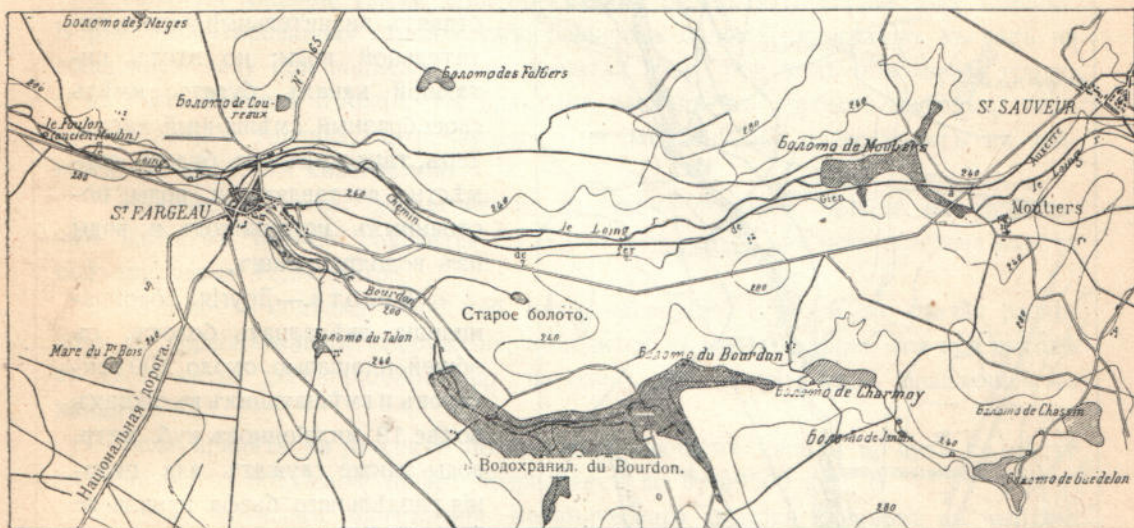


Рис. 96. Питаніе раздѣльнаго бьефа de Briare.

рѣчкѣ, то этотъ источникъ питанія, весьма обильный зимой, становится совсѣмъ ничтожнымъ въ сухое время года, несмотря на существованіе въ верхней части du Loing водохранилища, такъ называемаго болота de Moutiers (рис. 96), вмѣщающаго около 1.000.000 куб. метр. воды, въ которомъ можно сохранить избытокъ воды въ зимнее время для поддержанія расхода въ рѣчкѣ лѣтомъ.

Однако, въ настоящее время отчасти произведены, отчасти только рѣшены въ принципѣ важныя работы, которыя будутъ имѣть своимъ результатомъ значительное улучшеніе условій питанія.

Въ данный моментъ на Bourdon, притокъ du Loing (рис. 96) сооружено водохранилище, предназначаемое для сохраненія водъ, выпадающихъ въ бассейнѣ этого притока; вмѣстимость этого водохранилища не менѣе 8.000.000 куб. метр.

Кромѣ того, посредствомъ питающаго канала, который будетъ построенъ въ большей части своей длины подъ землей, будетъ установлено сообщеніе между болотомъ de Moutiers и водохранилищемъ du Bourdon, благодаря чему въ







Водоподъемная станція имѣетъ четыре паровыхъ машины съ общей мощностью въ 640 лошадиныхъ силъ, которыя приводятъ въ дѣйствіе столько же группъ насосовъ; эти машины, типа Compound, вертикальныя съ соединенными цилиндрами.

Каждая машина управляетъ рычагомъ, каждый конецъ котораго приводитъ въ движеніе штокъ вертикальнаго всасывающаго насоса простаго дѣйствія. Ходъ поршней равенъ 1 метру, а діаметръ 0,601 метр.; объемъ наполненія цилиндра равенъ 276 литрамъ, за вычетомъ объема, занимаемаго штокомъ поршня.

Паръ доставляется пятью генераторами, изъ которыхъ трехъ достаточно для питанія четырехъ машинъ.

При нормальныхъ условіяхъ хода насосы даютъ производительность 95 на 100.

Паровыя машины также дали прекрасные результаты для расхода топлива. Норма, гарантированная строителемъ, равнялась одному килограмму въ часъ на лошадиную силу при подъемѣ воды, вычитая золу, при чемъ опытнымъ топливомъ былъ брикетъ d'Anzin. На практикѣ расходъ въ грубыхъ цифрахъ, безъ вычета золы и топлива, затрачиваемаго на растопку, не превосходитъ въ данномъ случаѣ 1,055 килограмма.

Количество воды, доставляемое ежегодно станціей Бріары въ раздѣльный бьефъ, въ среднемъ равняется 7.734.000 куб. метр., при чемъ средняя высота подъема равна 42,39 метр.

Стоимость подъема 1.000 куб. метр. на высоту 1 метра, не считая расходовъ на первоначальное сооруженіе, обходится въ 0,204 франка, что при высотѣ въ 42,39 метра даетъ 0,008677 фр. на одинъ куб. метръ воды, впадающей въ каналъ.

Если принять въ расчетъ потери въ питающемъ каналѣ по пути къ мѣсту назначенія, то послѣдняя цифра возрастаетъ до 0,009500 фр.

Число случаевъ примѣненія механическаго питанія каналовъ въ настоящее время все болѣе и болѣе возрастаетъ, но мы не думаемъ, чтобы этотъ способъ могъ получить широкое примѣненіе въ Россіи, какъ вслѣдствіе своей сравнительной дороговизны, такъ и вслѣдствіе сравнительнаго богатства у насъ естественныхъ источниковъ для питанія каналовъ. Въ началѣ 19-го столѣтія были устроены въ Новой Ладогѣ 3 водоподъемныя машины, которыя могли подымать изъ Волхова въ Ладожскій каналъ 32.000 куб. саж. въ сутки. Въ настоящее время эти сооруженія уже не функціонируютъ, а для усиленія питанія канала Императора Петра Великаго построены плавучія насосныя станціи, которыя въ случаѣ надобности могутъ быть перемѣщаемы для усиленія питанія Бѣлозерскаго канала. Производительность ихъ 60.000 куб. саж. въ сутки \*).

---

\*) Интересующихся вопросами механическаго питанія мы отсылаемъ къ трудамъ VII и VIII Международныхъ Конгрессовъ по судоходству, а также къ труду инженера Н. П. Пузыревскаго «Устройство водныхъ путей при невыгодныхъ условіяхъ мѣстности и питанія».



## Г Л А В А VIII.

### Водохранилища и цѣль ихъ устройства.

Общія соображенія. Въ предыдущей главѣ, при описаніи питанія каналовъ съ раздѣльной точкой, мы уже указывали на то, что способъ, къ которому чаще всего прибѣгаютъ для пополненія недостатка питанія водами постоянныхъ источниковъ, состоитъ въ сбереженіи избытка воды втеченіе дождливаго времени года въ специально устроенныхъ съ этой цѣлью водохранилищахъ, откуда эта вода въ періодъ засухи можетъ быть направлена въ каналъ.

Ранѣе мы ограничились тѣмъ, что показали, какъ вычислить количество воды, могущее быть собраннымъ въ данной долині или ея части, оставляя для настоящей главы все, что относится къ самому устройству водохранилищъ.

Самую существенную часть этого устройства составляетъ сооруженіе дамбы, которая перегораживаетъ долину, удерживая въ образующемся бассейнѣ стекающія въ него воды.

Выборъ мѣста. — Если хотятъ, чтобы водохранилище дѣйствительно выполняло свое назначеніе, необходимо устраивать его на такой высотѣ, чтобы воды его подъ вліяніемъ одной лишь своей тяжести могли достигнуть самаго возвышеннаго бьефа изъ той группы ихъ, для которой сооружается данное водохранилище. Необходимо кромѣ того, чтобы почва долины отличалась достаточной непроницаемостью для возможности сохраненія воды безъ значительныхъ потерь вслѣдствіе фильтраціи и всасыванія. Эти два условія самыя важныя.

Если они выполнены, то самое лучшее мѣсто для водохранилища будетъ тамъ, гдѣ непосредственно выше суженія, благопріятнаго для устройства дамбы, имѣется значительное уширеніе, позволяющее собрать большое количество воды. Послѣднее условіе часто встрѣчается въ мѣстѣ соединенія двухъ или нѣсколькихъ долинъ.

Необходимо еще, чтобы земля, отчуждаемая для устройства водохранилища, не отличалась чрезмѣрной дороговизной, не была слишкомъ населена и не вмѣщала большое число заводовъ. Не касаясь даже вопроса о расходахъ, едва ли можно проектировать такое водохранилище, сооруженіе котораго имѣло бы своимъ послѣдствіемъ упраздненіе значительнаго населеннаго центра. Съ другой стороны, слѣдуетъ избѣгать расположенія водохранилища непосредственно выше населенныхъ мѣстностей изъ опасенія передъ тѣми бѣдствіями, которыя могутъ послѣдовать при случайномъ прорывѣ дамбы. Такимъ образомъ мы видимъ, что условія, съ которыми приходится считаться при выборѣ мѣста для водохранилища, многочисленны и разнообразны; первыя указанія въ этомъ отношеніи даются внимательнымъ изученіемъ картъ съ изображеніемъ рельефа мѣстности или посредствомъ штриховъ или лучше посредствомъ горизонталей; при чемъ слѣдуетъ сначала для предварительнаго изученія пользоваться картами въ небольшомъ масштабѣ, а потомъ уже брать карты въ болѣе крупномъ масштабѣ напримѣръ, въ  $\frac{1}{40.000}$  для детальнаго изслѣдованія.

Вмѣстимость. — Послѣднее соображеніе, имѣющее рѣшающее значеніе при окончательномъ выборѣ мѣста для водохранилища, это—его вмѣстимость. Въ самомъ дѣлѣ, необходимо, чтобы эта вмѣстимость находилась въ соотвѣт-



ствіи съ объемомъ воды, который можетъ быть собранъ въ вышележащей части долины. Поэтому, слѣдуетъ сдѣлать провѣрку, для которой необходимо располагать планомъ съ возможно частыми горизонталями и въ достаточно большомъ масштабѣ, дабы площади, ограничennыя кривыми, могли быть вычислены съ достаточной точностью. Умножая полу-сумму площадей, ограниченнхъ двумя послѣдовательными горизонталями, на высоту между ними, мы получимъ объемъ соотвѣтствующаго слоя. Легко тогда опредѣлить, будетъ ли достаточна вмѣстимость водохранилища при той высотѣ дамбы, которая для данного случая, является практически наибольшей возможной. Въ случаѣ, когда эта вмѣстимость окажется болѣе, чѣмъ достаточной, слѣдуетъ опредѣлить ту высоту, до которой достаточно довести дамбу, чтобы получить именно требуемую вмѣстимость.

Различные типы плотинъ. Затопленіе мѣстности на болѣе или менѣе значительномъ пространствѣ, безъ сомнѣнія, требуетъ выполненія часто довольно

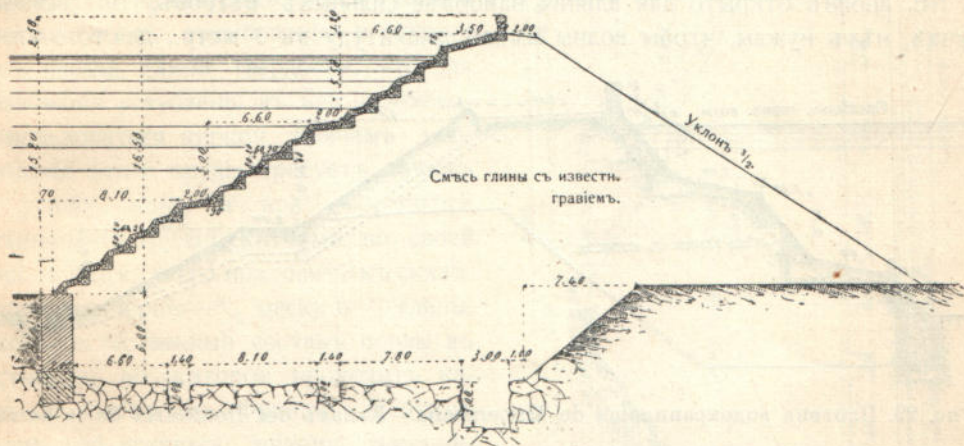


Рис. 98. Плотины водохранилищъ de Montaubry.—Центральный каналъ.

значительныхъ работъ, среди которыхъ исправленіе и отклоненіе въ сторону грунтовыхъ путей сообщенія занимаютъ видное мѣсто. Но эти работы, не представляя никакихъ опасностей, отступаютъ на второй планъ передъ сооруженіемъ плотины и тѣми работами, которыя непосредственно съ ней связаны. Сооруженіе водохранилища заключается, собственно говоря, въ постройкѣ плотины, и на послѣднемъ предметѣ мы и сосредоточимъ все наше вниманіе.

Дамба или плотина можетъ быть сдѣлана цѣликомъ изъ земли или цѣликомъ изъ каменной кладки; кромѣ того она можетъ имѣть смѣшанный характеръ, представляя собой комбинацію земли съ камнемъ или какимъ нибудь другимъ матеріаломъ. Соотвѣтственно этому мы послѣдовательно рассмотримъ водохранилища съ земляной плотиной, водохранилища смѣшанной системы и водохранилища съ каменной плотиной.

Водохранилища съ земляной плотиной. Поперечное сѣченіе плотины. Въ томъ видѣ, въ какомъ онѣ уже давно строятся во Франціи, эти плотины состоятъ цѣликомъ изъ массы однородной, хорошо уплотненной земли. Что касается ихъ поперечнаго сѣченія, то рисунки 98, 99 и 100 позволяютъ составить себѣ общее представленіе объ этихъ сѣченіяхъ.



Ширина по верху въ 5 метровъ и болѣе вполне достаточна для проѣзда повозокъ. Но даже и тогда, когда верхъ плотины не предназначается подъ проѣзжую дорогу, важно, съ точки зрѣнія болѣе легкаго выполненія работъ по ремонту, чтобы была обезпечена возможность проѣзда повозокъ. Съ другой стороны, не менѣе существенно, чтобы верхняя часть плотины, подвергающаяся ударамъ волнъ и льда, отличалась исключительной прочностью.

Въ самомъ дѣлѣ, въ большихъ водохранилищахъ, настоящихъ озерахъ, образуются тѣмъ болѣе сильныя волны, чѣмъ больше глубина и чѣмъ больше направленіе господствующихъ вѣтровъ совпадаетъ съ общимъ направленіемъ долины. На прудѣ de Chazilly (каналѣ de Bourgogne), который имѣетъ длину въ 1.500 метр., и глубину около 20 метр., какъ говорятъ, наблюдались волны высотой въ 3 метра. Можно конечно, усумниться въ точности этихъ наблюденій, но не подлежитъ сомнѣнію то, что водохранилище, расположенное отъ SO къ NE, вполне открыто для вліянія наиболѣе сильныхъ вѣтровъ. Во всякомъ случаѣ, нѣтъ нужды, чтобы волны имѣли амплитуду въ 3 метр., для того чтобы

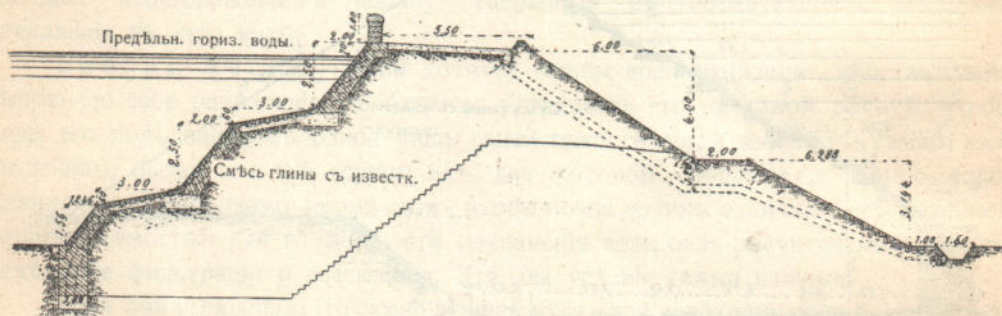


Рис. 99. Плотина водохранилища de Mittersheim.—Каналъ des Houillères de la Sarre.

онѣ могли вызвать серьезныя аваріи, разбиваясь у земляной плотины. Необходимо, поэтому, чтобы онѣ встрѣчали-сопротивленіе достаточно солидной массы, могущей выдержать ударъ и препятствующей перебрасыванію ихъ по другую сторону плотины. Вотъ почему верхней части плотины даютъ достаточную ширину и поднимаютъ ее выше уровня самыхъ высокыхъ волнъ. Кромѣ того, на верху располагаютъ еще солидный каменный парапетъ, высотой не менѣе 1 метра, предназначенный для защиты верхней части и наружнаго откоса отъ разрушающаго дѣйствія брызгъ, даваемыхъ волнами. Откосъ верховой стороны имѣетъ обыкновенно однообразный уклонъ, не круче полуторнаго; но укрѣпленіе, примѣняемое всякій разъ, когда высота плотины достигаетъ значительной величины, дѣлается въ видѣ ряда послѣдовательныхъ уступовъ. Съ низовой стороны откосъ чаще всего дѣлаютъ въ видѣ ряда наклонныхъ плоскостей, отдѣленныхъ горизонтальными площадками; разстояніе между площадками, считая по вертикали, измѣняется отъ трехъ до шести метровъ. Наклонъ плоскостей также обыкновенно разный. Такъ напримѣръ, въ водохранилищѣ de la Liez (рис. 100) наклонныя плоскости, числомъ 3, имѣютъ послѣдовательно уклонъ въ  $\frac{3}{2}$ , въ  $\frac{1}{4}$  и въ  $\frac{2}{4}$ . Въ водохранилищѣ de Mittersheim (рис. 99). имѣютъ соотвѣтственные уклоны въ  $\frac{3}{2}$  и въ  $\frac{2}{1}$ .

Качество земли для плотины. Насыпь плотины должна быть сдѣлана



изъ смѣси глины и песку въ такой пропорціи, чтобы каждое зерно песку было вполне окружено глиною, и чтобы послѣдняя нигдѣ не встрѣчалась въ такомъ большомъ количествѣ, которое могло бы дѣлать смѣсь сжимаемой. М. Mary и М. Vallée полагаютъ, что хорошей землей для плотины можно считать такую, которая, состоя по преимуществу изъ песку, содержитъ глины только что достаточное количество для связи между собою отдѣльныхъ зеренъ песку, при этомъ болѣе крупный песокъ лучше мелкаго, такъ какъ отдѣльное зерно, занявъ определенное положеніе, обладаетъ болѣею устойчивостью. По наблюденіямъ послѣдняго изъ этихъ двухъ выдающихся инженеровъ земля такого качества послѣ трамбованія и усушки даетъ насыпь такой твердости, что для образованія углубленія въ ней необходимо пользоваться киркой, причемъ употребленіе этого орудія требуетъ такихъ же усилій, какъ и при разработкѣ материкового грунта, который по своей природѣ ближе всего подходитъ къ скалѣ. Лучшая пропорція— $\frac{2}{3}$  песку и  $\frac{1}{3}$  глины. Таковъ естественный составъ почвы въ мѣстности, по которой проходитъ каналъ du Centre во Франціи, и этимъ вполне объясняется, почему многочисленные водохранилища, сооруженныя для питанія этого канала, всѣ имѣютъ земляныя плотины. При сооруженіи плотины водохранилища de Mittersheim пользовались землей, состоявшей приблизительно на половину изъ песку, на половину изъ глины. Къ ней примѣшивали въ слабой пропорціи гидравлическую известь въ видѣ порошка или въ видѣ известкового молока въ зависимости отъ большей или меньшей влажности земли (12 литр. извести въ порошокъ на кубическій метръ насыпи). Результатъ получился вполне удовлетворительный, но слѣдуетъ замѣтить, что плотина de Mittersheim имѣетъ небольшую высоту.

Для плотины водохранилища de la Liez, на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ, имѣлась въ распоряженіи еще болѣе глинистая земля; она содержала лишь четвертую часть песку. Но мы увидимъ дальше, что примѣненіе слишкомъ глинистыхъ земель привело въ нѣкоторыхъ случаяхъ къ очень плохимъ послѣд-

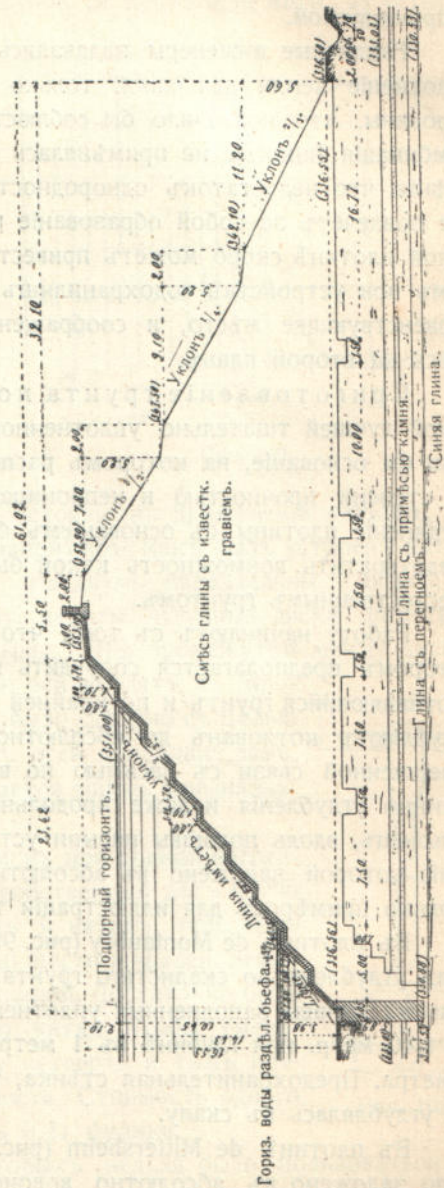


Рис. 100. Плотина водохранилища de la Liez. — Каналъ отъ Марны къ Сонѣ.



ствіямъ, при чемъ исправленіе разстроившагося сооруженія потребовало производства дорогихъ работъ. Во избѣжаніе этого плотина водохранилища de la Liez была образована изъ искусственной смѣси упомянутой земли съ мелкимъ гравіемъ въ пропорціи двухъ объемовъ земли на одинъ объемъ известкового гравія долины Марны. Насыпь, образованная изъ этой смѣси, является абсолютно непроницаемой.

Различные инженеры задавались вопросомъ, не достаточно ли примѣнять уплотненіе земли для одной только части запруды, напримѣръ для верховой половины, что позволило бы соблюсти значительную экономію. Однако такая комбинація никогда не примѣнялась во Франціи. Здѣсь всегда держались того мнѣнія, что недостатокъ однородности вызоветъ неравномѣрную осадку, которая повлечетъ за собой образованіе трещинъ. Но образованіе трещинъ въ земляной плотинѣ скоро можетъ привести къ очень опаснымъ послѣдствіямъ, между тѣмъ при устройствѣ водохранилищъ вопросъ объ ихъ безопасности занимаетъ первенствующее мѣсто, и соображенія экономическаго характера отступаютъ здѣсь на второй планъ.

Приготовленіе грунта подъ основаніе плотины.—Примѣненіе самой лучшей тщательно уплотненной земли не принесло бы никакой пользы, если бы основаніе, на которомъ располагается плотина, не отличалось въ такой же степени прочностью и непроницаемостью. Необходимо, кромѣ того, чтобы соединеніе плотины съ основаніемъ было сдѣлано возможно совершеннѣе, дабы предотвратить возможность какой бы то ни было фильтраціи между насыпью и естественнымъ грунтомъ.

Работу начинаютъ съ того, что тщательно расчищаютъ все то мѣсто, на которомъ предполагается соорудить плотину. Повсюду обнажаютъ хорошо сопротивляющійся грунтъ и по крайней мѣрѣ на нѣкоторой части ширины плотины углубляютъ котлованъ до абсолютно водонепроницаемыхъ слоевъ. Для болѣе совершенной связи съ насыпью по всей площади основанія дѣлаютъ многочисленныя углубленія и даже продольныя каналы, заполняемые плотной землей. Наконецъ, вдоль подошвы насыпи устраивается предохранительная стѣнка, основаніе которой заложено въ абсолютно непроницаемомъ слоѣ. Приводимъ нѣсколько примѣровъ для иллюстраціи только что сдѣланныхъ замѣчаній.

Въ плотинѣ de Montaubry (рис. 98) съ верховой стороны плотины котлованъ былъ углубленъ до скалистаго грунта, въ которомъ прорѣзаны были три продольныя каналы заполненные уплотненной землей; двѣ каналы имѣли ширину въ 1,40 метр. при глубинѣ въ 1 метръ и одна была шириною и глубиною въ 3 метра. Предохранительная стѣнка, толщиною въ 2 метра, почти на столько же углублялась въ скалу.

Въ плотинѣ de Mittersheim (рис. 99) основаніе предохранительной стѣнки было заложено въ абсолютно водонепроницаемыхъ слояхъ песчаника. Земля была срѣзана въ уровень съ бетоннымъ основаніемъ стѣнки, на значительномъ протяженіи сзади нея вплоть до сохранившейся части старой плотины пруда, въ которой были вырѣзаны уступы для образованія лучшей связи съ вышележащей насыпью.

Предохранительная стѣнка, устроенная у подошвы плотины водохранилища de la Liez (рис. 100) имѣетъ ширину въ 1,25 метр.; основаніе, состоящее изъ



слоя бетона толщиной въ 0,50 метра, заложено въ водонепроницаемомъ мергелѣ. Сзади этой стѣнки вырытъ котлованъ, дно котораго расположено на одномъ уровнѣ съ основаніемъ стѣнки, а ширина постепенно возрастаетъ кверху уступами въ 1 метръ; въ этотъ котлованъ входитъ нижняя часть плотины. Въ остальной части основанія соединеніе плотины съ естественнымъ грунтомъ достигается: 1) общей срѣзкой грунта на глубину не менѣе 0,30 метр.; 2) четырьмя продольными канавами, заполненными уплотненной землей; ширина ихъ равна 1,50 метрамъ, а глубина первой равна 1,50 метр., второй 1,25 метр. и двухъ другихъ 1 метр.

Уплотненіе земляной массы,— Предназначаемая для уплотненія земля разравнивается слоями небольшой толщины, съ прибавленіемъ, если требуется, гидравлической извести въ сухомъ или жидкомъ видѣ въ зависимости отъ влажности земли.

Въ прежнее время уплотненіе дѣлалось ручнымъ способомъ посредствомъ трамбовокъ; первое усовершенствованіе состояло въ примѣненіи катковъ, приводимыхъ въ движеніе лошадьми. Вотъ на примѣръ, какъ былъ устроенъ катокъ, которымъ пользовались въ Mittersheim'ѣ. На двухъ параллельныхъ осяхъ, отстоящихъ одна отъ другой на 0,42 метр. надѣты чугунныя диски діаметромъ въ 0,55 метр. и толщиной 0,05 метра (рис. 101); промежутки между дисками равны 0,055 метр., причемъ диски одной оси входятъ въ промежутки между дисками другой оси, что было сдѣлано съ цѣлью воспрепятствовать засоренію. Къ концамъ осей придѣлана рама, служащая для тяги; надъ рамой располагается ящикъ, предназначенный для нагрузки булыжникомъ.

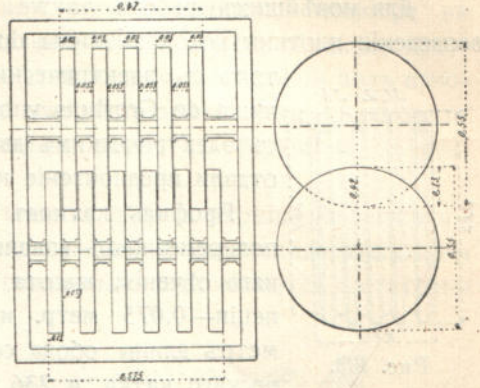


Рис. 101.

Этотъ катокъ вѣсилъ 2100 килограммовъ при полной нагрузкѣ, изъ которыхъ 1.200 приходится на собственный вѣсъ и 900 на нагрузку; онъ могъ двигаться впередъ и назадъ, при чемъ для тяги необходимо было отъ четырехъ до шести лошадей. Земля выравнивалась слоями въ 0,08 метра толщиной. Достаточно было двѣнадцати кратнаго прохожденія такого катка, чтобы уменьшить эту толщину болѣе чѣмъ на одну четверть и тѣмъ придать земляной массѣ достаточную плотность. Стоимость одного кубическаго метра насыпи выразилась въ 0,21 франка.

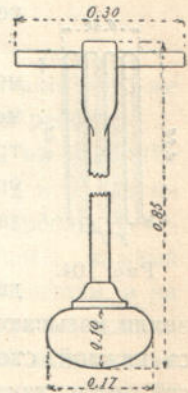


Рис. 102.

Въ тѣхъ частяхъ плотины, въ которыхъ нельзя было пользоваться каткомъ, примѣнялись чугунныя трамбовки вѣсомъ въ 19 килограм. (рис. 102); наконецъ, для уплотненія земли около каменныхъ стѣнъ искусственныхъ сооружений употребляли деревянный молотокъ, обухъ котораго вѣсомъ въ 2 килограм. былъ прикрѣпленъ къ длинной и гибкой рукояткѣ.

При сооруженіи плотины водохранилища de Torcy-Neuf на каналѣ du Centre примѣнялись желобчатые катки, приводимые въ движеніе лошадьми и паромъ.



Первые вѣсили отъ 700 до 750 килограммовъ, вторые 5.000 килограммовъ. Катокъ въ 700 килограмм., приводимый въ движеніе одной лошады, могъ въ одинъ день утрамбовать 80 куб. метр. земли, считая объемъ послѣ уплотненія; для парового катка этотъ объемъ доходилъ до 500 куб. метр. Средняя стоимость трамбованія, включая разравниваніе земли, по мѣрѣ надобности ея поливку, а также прибавленіе извести, составляетъ на кубическій метръ 0,23 фр.

Для новѣйшихъ работъ также пользовались желобчатыми катками. При возведеніи плотины водохранилища du Bourdon (каналъ Бріары) примѣнялся катокъ съ электрическимъ двигателемъ. Для плотины водохранилища de Grosbois употребляли катки какъ съ паровымъ, такъ и съ электрическимъ двигателемъ. На каналъ отъ Марны къ Сонѣ отдали предпочтеніе каткамъ съ керосиновымъ двигателемъ.

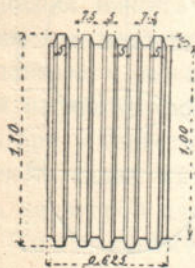


Рис. 103.

Профиль катковъ для плотины Grosbois состоялъ изъ ряда попеременныхъ впадинъ и выступовъ одинаковаго трапециoidalнаго сѣченія; высота трапеціи равна 0,05 метр., основанія трапеціи—0,075 метр. и 0,050 метр. (рис. 103). Вѣсъ на дециметръ длины обода составлялъ 180 килограммовъ для электрическаго катка и 236 килограммовъ для парового катка. Земля раскладывалась слоями толщиной въ 0,15 метр., которые послѣ 10—12 кратнаго прохода катка уменьшались до 0,07—0,08 метр.

На каналъ отъ Марны къ Сонѣ глубина впадинъ была равна 0,040 метр. (рис. 104), выступы имѣютъ сѣченія въ видѣ трапеціи съ шириною оснований соответственно 0,070 и 0,050 метр., впадины имѣютъ ширину по верху въ 0,050 метр, и по дну 0,030 метр. Вѣсъ на дециметръ длины ободы равенъ 210 килограммовъ. При толщинѣ слоевъ въ 0,45 метра катки дали очень хорошіе результаты.

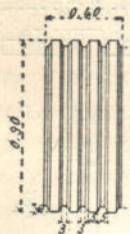


Рис. 104.

Повидимому, тяжелые желобчатые катки, работающіе при полной нагрузкѣ, т. е. съ давленіемъ въ 200 килограммовъ на дециметръ длины обода даютъ вообще хорошіе результаты. При электрическомъ и паровомъ двигателѣ нельзя разсчитывать на стоимость уплотненія ниже 0,16 франк. (считая на куб. метр.). При нефтяномъ двигателѣ стоимость можетъ быть понижена до 0,10 фр.

Каковъ бы ни былъ двигатель катка, послѣдній не можетъ двигаться у самой бровки насыпи; поэтому послѣдовательные слои земли насыпаются съ нѣкоторымъ запасомъ въ ширину (отъ 0,50 до 0,80 метра съ каждой стороны насыпи). Этотъ избытокъ ширины по окончаніи работы срѣзается, такъ чтобы откосы были образованы изъ вполне уплотненной массы земли.

Одежда откоса съ верховой стороны.—Подвергаясь ударамъ иногда очень сильныхъ волнъ и плавающего льда, откосъ съ верховой стороны неперемѣнно долженъ быть солидно укрѣпленъ.

Если глубина воды не велика, если сильные вѣтры не угрожаютъ плотинѣ, если, наконецъ, послѣдняя представляетъ всѣ гарантіи съ точки зрѣнія качества земли, образующей ея массу, то можно ограничиться одеждой откоса изъ сухой каменной кладки, какъ это имѣло мѣсто въ прудахъ de Baye и de Vaux, относящихся къ каналу du Nivernais и въ различныхъ прудахъ канала du Centre;



толщина этой кладки дѣлается довольно значительной, достигающей 0,50 метр. вверху и 0,80 метр. въ основаніи (размѣры, измѣряемые горизонтально); подошва этого укрѣпленія должна отличаться особенной прочностью; кромѣ того кладка должна вестись на слоѣ, толщиной не менѣе 0,10 метр., составленномъ изъ матеріаловъ постепенно убывающей крупности, каковы битый камень, гравій, песокъ. Вода, прошедшая черезъ промежутки между камнями, окончательно теряетъ свою скорость и, слѣдовательно, силу размыва. Однако, несмотря на всѣ предосторожности, такой способъ укрѣпленія представляетъ большіе недостатки: во-первыхъ, на большомъ пространствѣ кладки, выведенной подъ однообразный уклонъ, поврежденія легко могутъ распространяться изъ одной части въ другую, во-вторыхъ исправленія сопряжены здѣсь съ большими затрудненіями.

Поэтому, слѣдуетъ гораздо предпочтительнѣе дѣлать укрѣпленіе верхового откоса плотины изъ кладки на растворѣ, образующей рядъ послѣдовательныхъ уступовъ и комбинированной такъ, что ея различныя части являются достаточно солидными для сопротивленія какъ на-ружнымъ, такъ и внутреннимъ вліяніямъ и достаточно независящими другъ отъ друга, чтобы могущія появиться разрушенія могли остаться локализованными, и достаточно доступными, чтобы исправленія поврежденій могли быть выполнены повсюду съ достаточной легкостью. Такая система укрѣпленія была впервые примѣнена въ 1830 году на каналѣ du Centre въ плотинѣ пруда Berthaud, инженеромъ Vallée, но плотина водохранилища de Montaubry, служащаго для питанія того-же канала, можетъ служить классическимъ примѣромъ подобнаго рода работъ.



Рис. 105.

Одежда верхового откоса плотины de Montaubry образуетъ, въ наиболѣе высокой части ея, 16 уступовъ, раздѣленныхъ на три группы (5, 5 и 6) двумя рисбермами шириною въ 2 метра (рис. 98). Въ каждой группѣ гребни уступовъ располагаются на одной прямой имѣющей полуторный уклонъ, каждый гребень отстоитъ отъ сосѣдняго на 1,50 метра, считая по горизонтали и на 1 метръ по вертикали (рис. 105). Каждый уступъ сдѣланъ изъ бутовой кладки на растворѣ, высотой въ 0,80 метра и шириною по верху въ 0,30 метра и въ основаніи въ 0,90 метр., положенной на бетонномъ основаніи толщиной въ 0,40 метра и шириною въ 0,90 метр. Два послѣдовательныхъ уступа раздѣлены бермой, имѣющей поперечный уклонъ. Первоначально бермы имѣли толщину не болѣе 0,20 метр., изъ которыхъ 0,185 приходится на бетонъ и 0,015 метр. на асфальтовый покровъ. Этотъ асфальтовый покровъ быстро разрушался, послѣ чего бермы были сдѣланы изъ бутовой кладки на растворѣ, положенной на бетонномъ основаніи.

Въ плотинѣ de Mittersheim линія, на которой располагаются гребни уступовъ, имѣетъ уклонъ немного положе полуторнаго, каждый гребень отстоитъ отъ сосѣдняго по горизонтали на 5 метровъ и по вертикали на 3,10 метр. (рис. 106).



Каждый уступъ образованъ изъ наклонной каменной стѣнки на растворѣ высотой въ 2,50 метр., толщиной въ 0,50 метр. въ верхней части и въ 0,70 при основаніи, которое располагается на бетонномъ массивѣ толщиной въ 0,50 метра и шириною въ 1,40 метр. Двѣ сосѣднія стѣнки отдѣлены бермой, имѣющей паденіе въ 0,60 метра; толщина бермы равна 0,30 метр., изъ которыхъ 0,18 составляетъ слой бетона и 0,12 мощеніе.

На рис. 107 представлено укрѣпленіе плотины водохранилища de Liez.

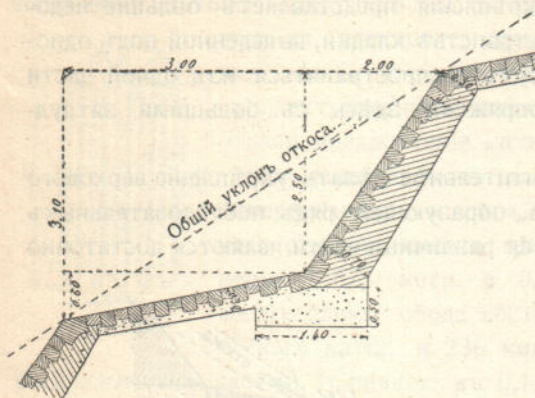


Рис. 106.

Укрѣпленіе верхового откоса соединяется внизу съ предохранительной стѣнкой, устроенной, какъ мы уже говорили выше, у подошвы этого откоса; въ верхней части оно примыкаетъ къ каменному парапету, о которомъ мы будемъ говорить впослѣдствіи.

Въ большинствѣ случаевъ укрѣпленіе состоитъ изъ бетоннаго основанія и стѣнки изъ каменной кладки. Можетъ возникнуть вопросъ, не предпочтительнѣе-ли вмѣсто совмѣстнаго употребленія двухъ типовъ кладки небольшой тол-

щины примѣнять либо одну каменную кладку, либо одинъ бетонъ. Инженеры на каналѣ отъ Марны къ Сонѣ высказались за примѣненіе бетона въ видѣ плитъ большихъ размѣровъ, отливаемыхъ на мѣстѣ, одна рядомъ съ другой. Въ случаѣ стѣны изъ каменной кладки общее количество швовъ бываетъ весьма значительнымъ, содержаніе ихъ въ исправности представляетъ не мало затрудненій и требуетъ значительныхъ расходовъ; въ этомъ отношеніи большія бетонныя плиты имѣютъ существенныя преимущества.

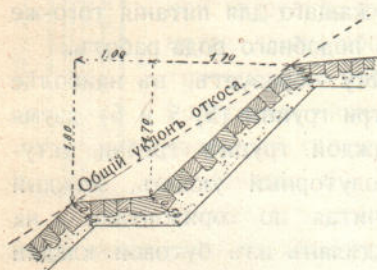


Рис. 107.

Верхняя часть плотины и парапетъ.—Наиболѣе интересныя числовыя данныя относительно гребня и парапета плотинъ нѣсколькихъ замѣчательныхъ водохранилищъ во Франціи сгруппированы ниже въ прилагаемой таблицѣ.

Изъ этой таблицы видно, что высота самыхъ значительныхъ земляныхъ плотинъ для водохранилищъ остается ниже 20 метровъ.

Возвышеніе гребня плотины надъ нормальнымъ горизонтомъ воды въ водохранилищѣ въ среднемъ около 1,50 метра, колеблется отъ 0,70 до 2,10 метр.

Высота парапета колеблется между 1 и 1,25 метр. т. е. она остается почти постоянной; возвышеніе парапета надъ нормальнымъ горизонтомъ колеблется отъ 1,70 до 3,35 метр., а его средняя величина равна около 2,60 метр.

Чаще всего парапетъ дѣлитъ гребень плотины на двѣ части, при чемъ часть съ верховой стороны, т. е. со стороны воды, бываетъ шире. Такое положеніе парапета обуславливается, безъ сомнѣнія, желаніемъ обезпечить ему большую устойчивость, а также облегчить его возведеніе. Однако есть основа-



НАЗВАНІЕ ВЕЛИЧИНЪ.	Водохран. de Montaubry.	Водохран. de Mittersheim.	Водохран. de la Liez.	Водохран, de Torcy-Neuf.	Водохран. du Plessis.	Водохран. de Cercey.
	Метр.	Метр.	Метр.	Метр.	Метр.	Метр.
Высота гребня плотины надъ порогомъ водоспускного отверстія . . . . .	16,58	3,92	16,77	16,30	9,30	13,30
Высота нормального горизонта . . . . .	15,20	9,22	14,67	14,50	7,75	12,50
Возвышеніе гребня надъ норм. горизонтомъ . . . . .	1,38	0,70	2,10	1,80	1,55	1,30
Высота парапета . . . . .	1,20	1,00	1,25	1,20	1,20	1,00
Возвышеніе парапета надъ нормальн. горизонтомъ	2,58	1,70	3,35	3,00	2,75	2,30
Ширина гребня плотины спереди парапета . . . . .	3,50	—	3,00	3,50	3,00	—
Ширина гребня плотины сзади парапета . . . . .	2,00	5,50	2,00	1,50	1,50	5,00
Полная ширина гребня . . . . .	6,00	6,00	5,50	5,50	5,00	6,40
Ширина парапета . . . . .	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,40

ніе отдать предпочтеніе другому расположенію парапета, именно, расположенію его на бровкѣ съ верховой стороны гребня. При такомъ его расположеніи получается больше свободнаго пространства для переноски строительныхъ матеріаловъ, ихъ складыванія и другихъ подобныхъ цѣлей.

Что касается профиля парапета, то онъ остается во всѣхъ случаяхъ почти неизмѣннымъ. Впрочемъ, заслуживаетъ спеціальнаго упоминанія профиль парапета плотины водохранилища de Cercey (рис. 108). Онъ представляетъ собой каменный банкетъ, наружный откосъ котораго соединяется по плавной кривой съ верховымъ откосомъ плотины, благодаря чему ослабляется дѣйствіе волны. Часть гребня плотины сзади парапета обыкновенно лишена защиты. Иногда здѣсь дѣлаютъ каменную мостовую, которая, кромѣ другихъ выгодъ, имѣетъ еще то преимущество, что предохраняетъ верхъ насыпи, по крайней мѣрѣ часть ея, отъ вліянія дождевыхъ водъ. Конечно, болѣе радикальной мѣрой является тщательный дренажъ. То же самое слѣдуетъ сказать относительно откоса съ низовой стороны, гдѣ недостаточно ограничиваться простой дерновкой или засадкой кустарникомъ. Въ плотинѣ de Mittersheim низовой откосъ былъ хорошо дренированъ на глубину 1,20 метр. Инженеръ Hirsch обосновываетъ эту мѣру слѣдующими соображеніями. «Обезпечить стокъ водамъ, могущимъ проявиться вслѣдствіе фильтрацій, такъ же важно, какъ и воспрепятствовать проникновенію воды въ тѣло плотины». Задній откосъ насыпи раздѣленъ дренажными каналами на рядъ контрфорсовъ, каждый изъ которыхъ вполнѣ обезпеченъ въ отношеніи водоотвода.

Доказательствомъ пользы дренажа является то обстоятельство, что, даже



при совершенной водонепроницаемости плотины, въ сырую погоду онъ доставляетъ нѣкоторое количество воды, получающейся отъ дождя, который падаетъ на откосъ и гребень плотины. При отсутствіи дренажа эта неотведенная вода могла бы вызвать вредное дѣйствіе. Подобнаго рода дренажъ далъ также хорошіе результаты на плотинѣ de Montaubry, и здѣсь есть нѣкоторое основаніе предполагать, что часть воды, отводимой дренажемъ, получается вслѣдствіе фильтрацій.

Примѣненіе слишкомъ глинистой земли. — Мы уже упоминали выше о нежелательныхъ послѣдствіяхъ, связанныхъ съ примѣненіемъ глинистыхъ земель при сооруженіи плотины. Съ этой точки зрѣнія весьма поучительнымъ является примѣръ двухъ плотинъ водохранилища de Cercey и de Panthier (каналъ de Bourgogne). Онъ показываетъ также, какъ могутъ быть предупреждены опасныя послѣдствія, а также исправлены возникшія разстройства.

Въ плотинѣ de Cercey насыпь была начата при наклонѣ 2,25 къ 1 для внутренняго откоса и 1,5 къ 1 для наружнаго. Сползанія обнаружались уже при высотѣ 7 метровъ, между тѣмъ какъ полная высота, до которой требовалось

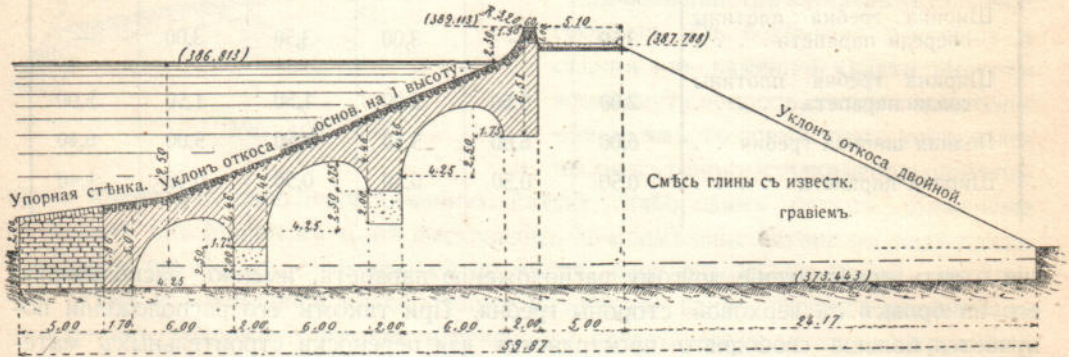


Рис. 108.—Плотина водохранилища de Cercey.—Бургундскій каналъ.

довести насыпь, равнялась 12,80 метр. Поэтому наклонъ наружнаго откоса былъ доведенъ до 2 къ 1; но потомъ произошелъ новый обвалъ, когда резервуаръ былъ уже на три четверти полонъ. Наконецъ послѣ исправленія этого поврежденія внутренній откосъ былъ доведенъ до 2,4 къ 1, но и тогда еще обнаруживались сползанія въ уровнѣ горизонта воды.

Несмотря на всю неуспѣшность этихъ работъ, Bazin, бывшій тогда инженеромъ на Бургундскомъ каналѣ, пользуясь той же землей, довѣлъ до благополучнаго конца работу по увеличенію высоты плотины водохранилища de Panthier, благодаря чему нормальный горизонтъ поднялся съ 7,60 метр. до 13,60 метр., считая надъ порогомъ нижняго водоспускнаго отверстія. При производствѣ этихъ работъ, которыя велись втеченіе семи лѣтъ, принимались самыя тщательнѣйшія мѣры предосторожности какъ относительно примѣненія земли, такъ и относительно защиты разъ уже выполненной части плотины отъ вліянія атмосферныхъ агентовъ; наиболѣе характерная мѣра, принятая въ Panthier противъ возможности сползовъ, состояла въ томъ, что вся половина насыпи, соотвѣтствующая внутреннему откосу, была разбита на отдѣльныя части посредствомъ поперечныхъ стѣнъ, которыя должны были остановить продольное распространеніе скольженія.



Эти каменные перегородки располагаются на разстояніи 40 метровъ другъ отъ друга въ средней части и 60 метровъ по концамъ плотины. Каждая стѣна поддерживается двумя сводами, устои которыхъ проходятъ черезъ всю массу насыпи и углубляются въ естественный грунтъ до прочнаго основанія. Толщина стѣнъ доведена до 1,50 метра, что позволяетъ имъ выдержать боковое давленіе, въ случаѣ, если бы какая-нибудь отдѣльная часть насыпи была разобрана; эти перегородки были выведены послѣ полного сооруженія насыпи въ выкопанныхъ затѣмъ котлованахъ, стѣнки которыхъ были прочно укрѣплены. Тотъ же способъ примѣнялся при исправленіи плотины de Cersey. Здѣсь каменные перегородки имѣютъ толщину въ 2 метра и располагаются на разстояніи лишь двѣнадцати метровъ другъ отъ друга; каждая изъ нихъ состоитъ изъ трехъ наклонныхъ сводовъ съ отверстіями въ 6 метровъ (рис. 108); устои не проходятъ здѣсь сквозь всю массу насыпи, но опускаются лишь ниже самой низкой поверхности скользянія. Кромѣ того, въ тѣхъ частяхъ, гдѣ обнаружались сползанія, подошва насыпи была укрѣплена солидной подпорной стѣнкой.

Слѣдуетъ добавить, что перегородки, съ успѣхомъ примѣненныя въ плотинахъ водохранилищъ de Cersey и de Panthier, представляютъ собой простое воспроизведеніе, лишь съ небольшими видоизмѣненіями, конструкціи, которой пользовались уже въ 1838 году на каналѣ du Centre для укрѣпленія плотины водохранилища de Torcy.

Есть основаніе полагать, что введеніе каменныхъ перегородокъ въ тѣло насыпи имѣетъ своимъ слѣдствіемъ не одно лишь прекращеніе бокового распространія скользяній, но что треніе между землей и каменной кладкой препятствуетъ также самому возникновенію этихъ сползовъ.

Дополнительныя сооруженія. — При каждой плотинѣ имѣются обыкновенно дополнительныя сооруженія, предназначаемыя для впуска и выпуска воды. Первыя сооруженія представляютъ собой ничто иное, какъ бассейны для отложенія наносовъ или оградительныя каналы, препятствующія впуску мутной воды, благодаря чему предотвращается возможность засоренія. Вторыя сооруженія состоятъ изъ:

- 1) Одного или нѣсколькихъ водосливовъ для выпуска, въ случаѣ надобности, избытка воды противъ нормальнаго количества, вмѣщаемого водохранилищемъ.
- 2) Одного или нѣсколькихъ водоспусковъ, позволяющихъ дѣлать попуски воды, для которыхъ сооружено водохранилище.
- 3) Доннаго водоспускнаго отверстія, позволяющаго, въ случаѣ надобности, совершенно опорожнить водохранилище.

Бассейны для отложенія наносовъ и оградительныя каналы. — Потоки, приносящіе свои воды въ водохранилище, увлекаютъ съ собою во взвѣшенномъ состояніи наносы, которые отлагаются въ водохранилищѣ, уменьшая мало по малу его вмѣстимость. На каналѣ du Centre можно указать не мало прудовъ, которые такимъ путемъ были совершенно занесены наносами.

Нѣтъ возможности помѣшать этому увлеченію наносовъ, но можно значительно уменьшить вытекающія отсюда вредныя слѣдствія, помѣщая въ каждомъ потокѣ, въ нѣкоторомъ разстояніи отъ водохранилища, отмучивающій воду бассейнъ, въ которомъ отложится по крайней мѣрѣ наиболѣе крупный наносный



матеріаль. Удаленіе наносовъ изъ этихъ бассейновъ выполняется съ большей легкостью, чѣмъ это можно сдѣлать въ глубокихъ водохранилищахъ; къ тому же послѣднія могутъ такимъ путемъ сохранить свою полезную вмѣстимость.

Когда можно обойтись безъ поверхностныхъ водъ благодаря обилію воды въ источникахъ или когда нежелательно ими пользоваться вслѣдствіе того, что онѣ слишкомъ мутны, водохранилище окружаютъ оградительной канавой, которая можетъ, въ случаѣ надобности, собрать эти воды и отвести ихъ въ сторону.

Сооруженія для пуска воды въ водохранилищѣ de Montaubry.—Въ водохранилищѣ de Montaubry, исключая одного водослива, длиною въ 8 метровъ, устроеннаго въ косогорѣ, ограничивающемъ плотину съ лѣвой стороны, всѣ сооруженія, предназначенныя для выпуска воды, сосредоточены въ одномъ мѣстѣ и составляютъ одно цѣльное сооруженіе, устроенное въ тальвегѣ долины въ правомъ концѣ плотины (ри. 109).

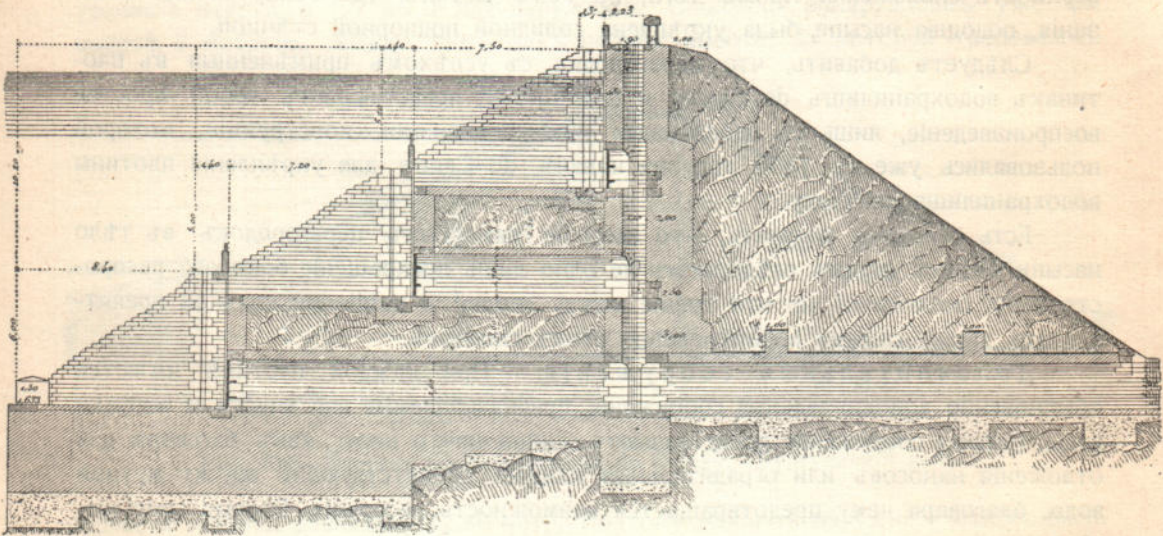


Рис. 109. Водоспускныя отверстія водохранилища de Montaubry.

Существеннѣйшую часть этого сооруженія составляетъ вертикальный колодецъ съ внутреннимъ діаметромъ въ 1,10 метр., проходящій черезъ всю высоту плотины; этотъ колодецъ съ низовой стороны соединяется съ водопроводомъ, шириною въ 1 метръ и высотой въ 2 метра, устроеннымъ въ нижней части плотины. Съ верховой стороны въ стѣнкѣ колодца сдѣланы три отверстія, изъ которыхъ одно на 5,20 метра ниже нормальнаго горизонта воды, другое на 10,20 метра и третье противъ только что упомянутаго водопровода.

Въ послѣднія два отверстія ведутъ водопроводы, устроенные съ верховой стороны подъ внутреннимъ откосомъ плотины; эти водопроводы оканчиваются крыльями, въ которыхъ сдѣланы пазы для шандоровъ. Каждый водопроводъ съ верховой стороны снабженъ деревянной рамой съ отверстіемъ  $0,60 \times 0,30$ , которое закрывается щитомъ, приводимымъ въ движеніе съ вышележащей платформы.

Благодаря такому расположенію водоспусковъ, можно, открывая первое отверстіе, выпустить слой воды толщиной въ 5,20 метровъ; когда первая плат-



форма выйдетъ изъ подъ воды, можно будетъ поднять второй щитъ и начать спускъ второго слоя, послѣ выпуска котораго явится возможность открыть третье отверстіе. Порогъ этого послѣдняго водоспускнаго отверстія располагается на 15,20 метра ниже нормальнаго горизонта, поэтому подъемъ щитовъ никогда не приходится дѣлать подъ давленіемъ воды выше 5,20 метр.

Если какое-нибудь непредвидѣнное обстоятельство вызываетъ необходимость въ полномъ прекращеніи выпуска воды, то, въ случаѣ надобности, при несовершенствѣ щитовыхъ затворовъ, можно прибѣгнуть къ шандорамъ, подъ защитою которыхъ можно выполнить требуемыя исправленія.

Кромѣ того, для уменьшенія дѣйствія удара воды, падающей изъ верхнихъ водопроводовъ, на днѣ колодца оставляютъ слой воды, играющей роль тюфяка, что достигается частичнымъ загражденіемъ выходнаго отверстія нижняго водопровода; благодаря этому тюфяку каменная кладка предохраняется отъ разрушающаго дѣйствія падающей съ большой скоростью воды.

Нижній водопроводъ, соотвѣтствующій третьему отверстію въ колодцѣ, выполняетъ роль доннаго водоспуска и служитъ одновременно и для опорожненія резервуара и для извлеченія изъ него наноснаго ила, который всегда отлагается въ глубокихъ частяхъ водохранилища у подошвы плотины.

Расположеніе сооруженія, принятое въ Montaubry, вполнѣ оправдывается условіями мѣстности, такъ какъ склоны запруженной долины состоятъ изъ глинистаго грунта, между тѣмъ какъ тальвегъ представляетъ вполнѣ надежное основаніе для устройства большаго сооруженія.

Въ томъ случаѣ, когда плотный и вполнѣ надежный грунтъ залегаетъ ближе къ склонамъ долины, а не въ частяхъ, прилегающихъ къ тальвегу, только что описанный типъ является нераціональнымъ; различныя отверстія для истеченія могутъ быть тогда съ бѣльшимъ основаніемъ расположены на различныхъ высотахъ вдоль плотины, при чемъ каждое изъ нихъ имѣетъ свой собственный фундаментъ и другія части сооруженія. Съ точки зрѣнія экономической конструкція можетъ оказаться болѣе выгодной при раздѣленіи сооруженій, чѣмъ при группировкѣ ихъ въ одномъ мѣстѣ, а потому въ каждомъ частномъ случаѣ слѣдуетъ сдѣлать сравненіе стоимости обѣихъ комбинацій.

Что же касается безопасности и легкости маневрированія, то, очевидно, что всѣ преимущества на сторонѣ устройства отдѣльныхъ сооруженій.

Въ самомъ дѣлѣ, извѣстно, что фильтраціи внушаютъ тѣмъ болѣе опасеній, чѣмъ больше поверхности, по которой соединяются каменная кладка и земляная насыпь, особенно когда эти поверхности вертикальны. Но, въ случаѣ одного большаго сооруженія въ наиболѣе высокой части плотины всегда получатся большія вертикальныя поверхности, вдоль которыхъ легко могутъ возникать движенія, а также распространяться скользянія. Поэтому, если позволяютъ условія грунта, болѣе рационально располагать водоспускныя отверстія въ нѣсколькихъ мѣстахъ, выбранныхъ соотвѣтственно требованіямъ основанія сооруженій и легкости маневрированія.

При ненадежности грунта тальвега такое рѣшеніе вопроса является наиболѣе правильнымъ.

Въ водохранилищѣ de la Liez отверстія для пусковъ воды и опорожненія водохранилища образуютъ два различныхъ сооруженія, расположенныя,

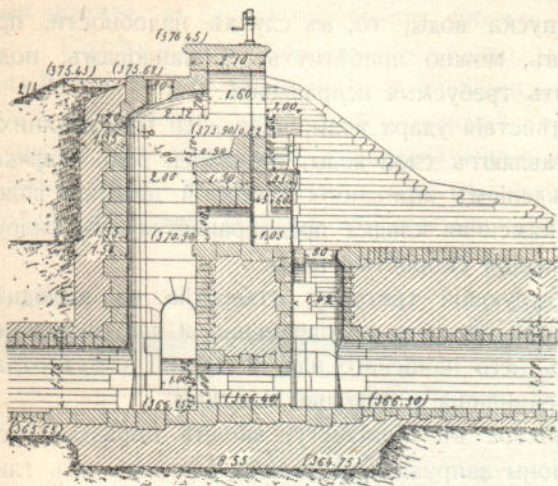


первое въ 72,50 метр. отъ лѣваго конца плотины, второе—въ тальвегѣ въ 80 метрахъ отъ перваго. Порогъ двухъ отверстій пусковъ воды заложенъ соответственно на 5,50 метр. и 11,09 метр. ниже нормальнаго горизонта. Порогъ отверстія для опорожнивANIA водохранилища расположенъ на 14,67 метр. ниже

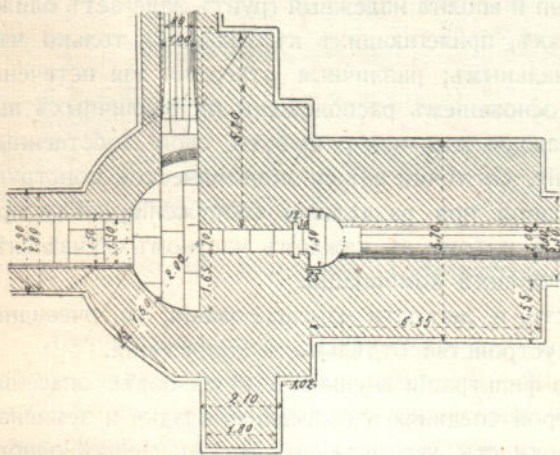
того-же горизонта. Кромѣ того, для регулированія этого горизон-та, на продолженіи плотины со стороны ея лѣваго конца были устроены постоянный водосливъ длиною въ 25 метровъ и водо-спускъ, состоящій изъ пяти от-верстій съ свободной шириною въ 1,25 метра при высотѣ 1,25 метра (ниже нормальнаго гори-зонта). М. Bazin въ своей статьѣ относительно устройства плотины водохранилища de Panthier вполнѣ основательно замѣчаетъ, что отверстіе для опорожниванія во-дохранилища функционируетъ рѣдко, тогда какъ вышележащія водоспуски работаютъ непрерыв-но втеченіе сухого времени года. Эти послѣднія служатъ для вы-пуска почти всей воды, выпускае-мой водохранилищемъ,—во пер-выхъ, потому что резервуаръ вполнѣ опоражнивается только въ рѣдкихъ случаяхъ, во вто-рыхъ потому что вслѣдствіе са-мой формы водохранилища, т. е. уклона береговъ и откосовъ боль-шая часть объема воды нахо-дится въ его верхней части. По-этому, если, напримѣръ, раздѣ-лить на двѣ части водохрани-лище de Panthier глубиною въ 13,60 метр. горизонтальною плос-

костью, проходящую на 7,50 метр. подъ нормальнымъ горизонтомъ, то объемъ выше этой плоскости будетъ равенъ 6,700,000 кубич. метр., тогда какъ объемъ ниже ея, несмотря на высоту въ 6,10 метр., не превосходитъ одного милліона куб. метровъ.

Продольный разръзъ.



Плaщъ въ уровнѣ нижняго водопровода.



[ Рис. 110. Водоспускъ водохранилища de Panthier.



до увеличенія высоты насыпи, единственнымъ водоспускомъ для попусковъ воды было впослѣдствіе сохранено только какъ донный водоспускъ, при чемъ новый водоспускъ для попусковъ былъ сдѣланъ вдоль склона долины на разстояніи 60 метровъ отъ праваго конца плотины. Этотъ новый водоспускъ состоитъ прежде всего изъ двухъ верхнихъ отверстій шириною въ 0,70 метр. и высоту въ 1,00 метр., порогъ которыхъ располагается на 3 метра ниже нормального горизонта. Далѣе, на 4,50 метра подъ этой системой располагается другое отверстіе такого же сѣченія, какъ и первая два. Эти первая отверстія выпускаютъ воду прямо изъ водохранилища, тогда какъ нижнее отверстіи получаетъ воду посредствомъ подземнаго водопровода (рис. 110). Все сооруженіе, устроенное частью въ выемкѣ, частью въ насыпи, лишь слабо возвышается надъ землею, что представляетъ гарантію его прочности и устойчивости. Съ другой стороны, опытъ, пріобрѣтенный при прежней высотѣ плотины, показалъ, что водосливъ длиною

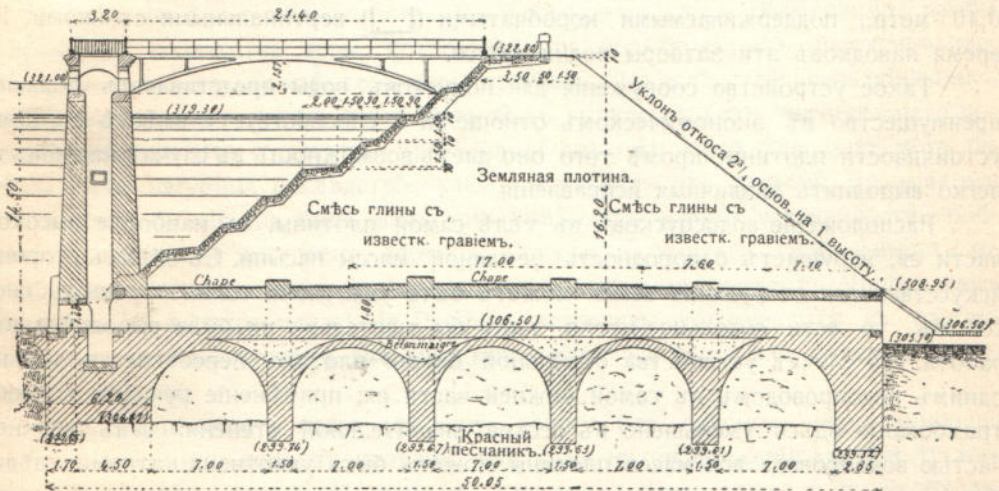


Рис. 111. Водоспускъ водохранилища de Torcy-Neuf

въ 4 метра былъ вполне достаточенъ, поэтому сочли излишнимъ строить специальное сооруженіе такихъ небольшихъ размѣровъ; сливъ воды дѣлается въ тотъ-же колодезь, который служитъ для попусковъ воды. Съ этой цѣлью этотъ колодезь сдѣланъ съ полукруглымъ сѣченіемъ діаметромъ въ 4 метра.

Попуски воды изъ водохранилища de Torcy-Neuf.—Въ водохранилищѣ de Torcy-Neuf водоспуски для попусковъ, донный водоспускъ и водосливъ соединены въ одномъ сооруженіи; но это сооруженіе, состоящее изъ башни, построенной у подошвы плотины, занимаетъ вполне изолированное положеніе (рис. 111). Башня снаружи имѣетъ квадратное очертаніе; внутри она представляетъ вертикальный колодезь съ діаметромъ въ 1,50 метр., въ который открываются отверстія для попусковъ воды. Колодезь внизу соединяется съ водопроводомъ для выпуска воды.

Верхъ башни и плотины располагаются на одинаковомъ уровнѣ, именно на 16,30 метра выше флутбета доннаго водоспуска. Здѣсь помѣщается квадратная платформа (съ размѣрами 3,50 × 3,50 метра), на которой установлены



механическія приспособленія для маневрированія затворами водоспусковъ. Лицевыя грани стѣнъ башни имѣють уклонъ въ  $\frac{1}{20}$ .

Колодець продолжается внизъ ввидѣ цилиндрической камеры съ тѣмъ же діаметромъ на глубину 2 метра; камера эта всегда наполнена водой, которая ослабляетъ разрушающее дѣйствіе падающей воды на кладку.

Водоспуски, въ числѣ трехъ, включая сюда донный водоспускъ, располагаются одинъ надъ другимъ на вертикальномъ разстояніи другъ отъ друга въ 4,80 метра. Первые же два водоспуска представляютъ собой простыя прямоугольныя отверстія шириною въ 0,80 метра и высотой въ 0,40 метр., сдѣланныя въ боковыхъ стѣнахъ башни.

Что касается водослива, то онъ состоитъ изъ четырехъ отверстій, шириною въ 2,20 метра каждое, устроенныхъ въ верхней части башни, въ четырехъ ея стѣнахъ. Пороги этихъ отверстій расположены на 0,40 метра ниже нормальнаго горизонта, при чемъ они отчасти закрываются дубовыми затворами высотой въ 0,40 метр., поддерживаемыми коробчатыми (I) вертикальными стойками. Во время паводковъ эти затворы поднимаются.

Такое устройство сооруженія для попусковъ воды представляетъ большое преимущество въ экономическомъ отношеніи и способствуетъ вмѣстѣ съ тѣмъ устойчивости плотины; кромѣ того оно даетъ возможность въ случаѣ надобности легко выполнить различныя исправленія.

Расположеніе водоспусковъ въ тѣлѣ самой плотины, въ наиболѣе высокой части ея, нарушаетъ однородность земляной массы насыпи. Съ обѣихъ сторонъ искусственнаго сооруженія земля можетъ быть уплотнена только ручнымъ способомъ, то есть довольно плохо, какъ бы тщательно ни была выполнена эта работа. Въ случаѣ устройства отдѣльной башни плотина пересѣкается только однимъ водопроводомъ въ самой нижней части ея; примѣненіе ручнаго способа трамбованія здѣсь уменьшено въ весьма значительной степени; надъ верхней частью водопровода вся масса плотины можетъ быть уплотнена катками; слѣдовательно, здѣсь нѣтъ повода опасаться разстройства насыпи вслѣдствіе ея неоднородности.

Эта система представляетъ также цѣнныя преимущества въ отношеніи доступа къ затворамъ, ихъ содержанія и ремонта.

Обыкновенно затворы водоспусковъ представляютъ собой простыя прямоугольныя щиты,двигающіеся въ пазахъ, что является серьезнымъ недостаткомъ, такъ какъ при большомъ давленіи воды возникаетъ значительное сопротивленіе вслѣдствія тренія. Послѣднее обстоятельство требуетъ примѣненія сильныхъ и дорогихъ лебедокъ, треніе въ которыхъ въ свою очередь увеличиваетъ преодолеваемое сопротивленіе; эти лебедки должны быть кромѣ того очень прочно укрѣплены, чтобы устранить возможность колебанія и шатанія ихъ въ стороны, что требуетъ примѣненія тяжелыхъ металлическихъ связей и очень солидной кладки.

Въ водохранилищѣ de Torcy-Neuf были примѣнены затворы спеціальной системы, изобрѣтенные инженеромъ Résal'емъ; здѣсь треніе перваго рода (вслѣдствіе скользяженія) почти вполнѣ замѣнено треніемъ втораго рода (вслѣдствіе катанія). Описаніе этой остроумной системы потребовало бы слишкомъ много мѣста; мы ограничиваемся поэтому простымъ упоминаніемъ, отсылая читателей, желающихъ под-



робно ознакомиться съ системой къ «Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées, tome III page 970» \*).

Однако, вмѣсто этихъ специальныхъ затворовъ, повидимому, здѣсь можно пользоваться также и цилиндрическими затворами. Эти послѣдніе уже испытаны и, хотя ими до сихъ поръ не пользовались на практикѣ для водохранилищъ, тѣмъ не менѣе они могутъ найти здѣсь вполне естественное примѣненіе.

Независимо отъ четырехъ водосливныхъ отверстій, сдѣланныхъ въ вершинѣ башни въ четырехъ ея стѣнахъ, въ лѣвомъ концѣ плотины de Torcy-Neuf устроены еще водосливы длиною въ 12 метровъ.

Порогъ этого водослива расположенъ на 0,70 метра ниже нормальнаго горизонта. Этотъ водосливъ также закрывается соотвѣтственно высотѣ 0,70 метра короткими деревянными затворами, поддерживаемыми металлическими стойками коробчатого сѣченія [I]. Въ случаѣ паводковъ затворы могутъ быть легко подняты, всѣ или только частью.

Соображенія относительно водосливовъ.—Необходимо, чтобы за вычетомъ количества воды, потребнаго для попусковъ изъ водохранилища (для нуждъ судоходства), избытокъ воды, получающійся вслѣдствіе очень обильныхъ дождей или сильнаго таянія снѣга, могъ быть выпущенъ безъ значительнаго повышения нормальнаго горизонта. Чрезмѣрный подъемъ этого горизонта могъ бы имѣть очень пагубныя послѣдствія, какъ мы увидимъ это дальше. Во всякомъ случаѣ, какъ бы онъ ни былъ малъ, онъ измѣняетъ условія устойчивости, сообразно съ которыми построена плотина. Отсюда возникаетъ необходимость въ водосливахъ, автоматически регулирующихъ нормальный горизонтъ. Иногда, какъ на примѣръ въ водохранилищѣ de Panthier, водосливы устраиваются въ одномъ сооруженіи съ водоспусками для попусковъ, чаще же всего ихъ дѣлаютъ совершенно отдѣльно.

Ихъ располагаютъ тогда или вдоль одного изъ склоновъ водохранилища или въ одномъ изъ концовъ плотины, или даже на продолженіи ея. При такихъ условіяхъ каналъ, отводящій воду въ тальвегъ долины, долженъ по необходимости возмѣстить значительную разность уровней. Чтобы избѣжать значительной длины и чрезмѣрнаго паденія, лотокъ такого канала дѣлаютъ обыкновенно въ видѣ ряда послѣдовательныхъ уступовъ, отдѣленныхъ слегка наклонными плоскостями (рис. 112).

Водосливъ, регулирующий горизонтъ, долженъ пропускать въ секунду наибольшій объемъ воды, притекающій въ водохранилище, который долженъ быть выпущенъ во избѣженіе подъема горизонта выше извѣстнаго предѣла. Въ случаѣ, когда этотъ притокъ значителенъ, представляется двоякое затрудненіе. Если порогъ водослива располагается въ одинаковомъ или почти одинаковомъ уровнѣ съ нормальнымъ горизонтомъ, то длина его должна быть иногда настолько значительной, что на практикѣ ее не всегда можно выполнить. Если же для уменьшенія этой длины понизить порогъ водослива, то этимъ самымъ мы понизимъ подпорный горизонтъ резервуара и, слѣдовательно, уменьшимъ его вмѣстимость. Чтобы избѣжать этого двоякаго затрудненія, въ нѣкоторыхъ случаяхъ къ водо-

\*) Краткое ея описаніе имѣется въ Курсѣ внутреннихъ водныхъ сообщеній. Инженера Ѳ. Г. Зброжека.



сливу присоединяли водоспускъ. Резервуаръ de la Liez представляетъ примѣръ такого устройства. Съ водосливомъ длиною въ 25 метровъ, порогъ котораго расположенъ въ уровнѣ нормального горизонта, соединенъ водоспускъ, состоящій изъ пяти отверстій, закрываемыхъ щитами; свободная ширина каждого отверстия равна 1,25 метра, при высотѣ въ 1,25 метра, считая отъ того-же горизонта. При случайномъ подъемѣ нормального горизонта на 0,20 метра, подъемъ вполнѣ безопасномъ, совокупность искусственныхъ сооружений можетъ пропустить объемъ воды въ 25,143 метра въ секунду, что значительно превосходитъ расходъ самыхъ большихъ паводковъ de la Liez.

Въ другихъ случаяхъ водосливъ дѣлается совершенно въ видѣ водоспуска. Примѣромъ можетъ служить уже описанный водосливъ de Torcy-Neuf.

Подобнаго рода комбинаціи вполнѣ могутъ обезпечить выпускъ излишняго количества воды, однако нельзя не признать, что онѣ лишаютъ водосливы ихъ свойства автоматическихъ регуляторовъ горизонта.

Разрѣзъ.

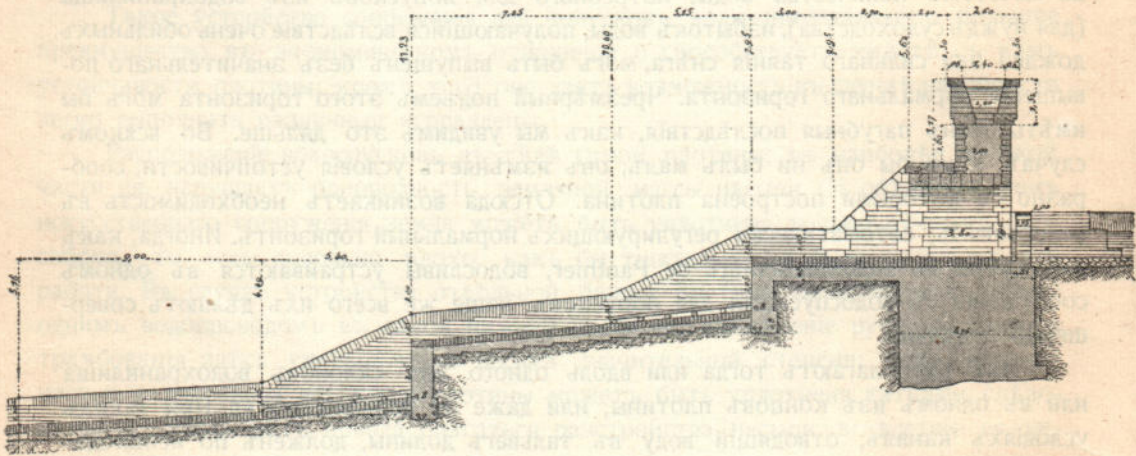


Рис. 112. Отводной каналъ водослива водохранилища du Tillot.

Водосливъ — сифонъ въ Миттерсгеймѣ. Именно съ цѣлью автоматическаго регулированія въ водохранилищѣ въ Миттерсгеймѣ и былъ устроенъ водосливъ — сифонъ. Сифонъ, приведенный въ дѣйствіе, даетъ расходъ соотвѣственно его діаметру и разности уровней; поэтому, если діаметръ взять достаточно большимъ для того, чтобы при данномъ паденіи выпустить всю воду, притекающую въ водохранилище, нѣтъ причины для повышенія горизонта. Вся задача состоитъ въ томъ, чтобы по мѣрѣ надобности приводить въ дѣйствіе и прекращать функционированіе сифона; она была очень остроумно разрѣшена инженеромъ Hirsch'емъ. Рядомъ съ сифономъ, имѣющимъ діаметръ 0,70 метр., помѣщается другая труба съ діаметромъ только въ 0,15 метра; верхній конецъ этой трубы открывается въ водохранилище въ видѣ расширенія, называемаго головой. Эта малая труба не сифонируетъ; она оканчивается горизонтальной частью, помѣщенной въ уровнѣ нормального горизонта. Голова малой трубы имѣетъ два входныхъ отверстія, одно изъ которыхъ, нижнее, точно располагается въ уровнѣ нормального горизонта, другое-же на пять миллиметровъ выше.



Верхняя часть этой трубы соединяется съ вершиной сифона, тогда какъ нижняя часть, какъ первой, такъ и второго, постоянно погружены въ колодезь для стока воды.

Когда горизонтъ воды въ водохранилищѣ поднимается выше нижняго отверстия, черезъ малую трубу начинаетъ протекать вода; при повышеніи горизонта еще на пять миллиметровъ погружается въ воду также и верхнее отверстие, и въ этотъ моментъ воздухъ, содержащійся въ верхней части сифона, устраняется благодаря истеченію черезъ малую трубу, вода въ сифонѣ поднимается, и онъ начинаетъ функционировать. По истеченіи нѣкотораго времени, когда горизонтъ воды въ водохранилищѣ настолько понизится, что верхнее отверстие головы малой трубы выйдетъ изъ подъ воды, воздухъ проникаетъ въ трубу, занимая затѣмъ мѣсто въ верхней части сифона, вслѣдствіе чего послѣдній перестаетъ дѣйствовать.

Такимъ образомъ, пока горизонтъ остается ниже нормальнаго, аппаратъ бездѣйствуетъ. При замѣтномъ повышеніи этого горизонта сифонъ начинаетъ функционировать съ полнымъ расходомъ (3,30 куб. метр. въ секунду); въ промежуткѣ между этими двумя очень близкими предѣлами имѣетъ мѣсто истечение воды вмѣстѣ съ воздухомъ. Итакъ, система дѣйствуетъ вполне автоматически. Чтобы пропустить расходъ въ 6.50 куб. метр., что составляетъ максимум количества воды, могущей притекать въ водохранилище, было установлено два только что описанныхъ сифона. Возможность сжатія струи была устранена тѣмъ, что голова малой трубы была еще болѣе расширена; наконецъ между двумя ея отверстиями былъ помѣщенъ затворъ, дающій возможность уменьшать размѣры сѣченія трубы и тѣмъ регулировать расходъ, благодаря чему аппаратъ получаетъ всю требуемую точность.

Сифонъ имѣетъ криволинейную форму съ радіусомъ кривизны въ 1,44 метра при чемъ круговая форма способствуетъ уменьшенію вліянія центробѣжной силы, или по крайней мѣрѣ даетъ возможность съ большей легкостью оказать сопротивленіе этой силѣ. Вся система заключена внутри башни, защищающей ее отъ дѣйствія волнъ, плавающихъ тѣлъ и льда; различныя приспособленія позволяютъ въ случаѣ надобности по желанію измѣнять или даже совсѣмъ останавливать движеніе воды.

Водосливъ—сифонъ въ Миттерсгеймѣ былъ устроенъ сорокъ лѣтъ тому назадъ и продолжаетъ до сихъ поръ функционировать съ полной исправностью (табл. 113).

Сифоны водохранилища de Bourdon. Интересное примѣненіе сифоновъ сдѣлано въ водохранилищѣ de Bourdon, которое въ настоящее время построено для питанія канала de Briare. Независимо отъ двухъ донныхъ водопроводовъ, снабженныхъ затворами, и одного поверхностнаго водослива, здѣсь устроены особой конструкции регулирующія сооруженія для пусковъ воды, которыя состоятъ изъ четырехъ сифоновъ, приводимыхъ въ дѣйствіе пятымъ сифономъ. Эта батарея сифоновъ можетъ служить или для выпуска верхняго слоя воды высотой въ 5 метровъ, не прибѣгая къ помощи донныхъ водопроводовъ, или для увеличенія количества вытекающей изъ водохранилища воды, при недостаточности послѣднихъ сооружений. Система сифоновъ можетъ также автоматически служить для выпуска паводковыхъ водъ, въ слу-







Расположеніе сифонѣвъ выбрано такъ, чтобы они могли пройти подъ ядромъ плотины, не задѣвая его и не нарушая его однородности (рис. 114). Сифоны имѣютъ соотвѣтственно діаметры 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 и 0,60 метр. Такое разнообразіе позволяетъ видоизмѣнять расходы сообразно съ перемѣнчивыми требованіями питанія.

Опытъ показываетъ, что сифонъ самъ собой приходитъ въ дѣйствіе, лишь только верхній горизонтъ воды поднимается на  $\frac{1}{3}$  діаметра трубы надъ нижней точкой перегиба сифона. Пятый сифонъ, могущій приводить въ дѣйствіе остальные и имѣющій діаметръ равный 0,20 метр., начинаетъ функціонировать, когда горизонтъ воды достигаетъ наивысшаго допускаемаго уровня, такъ какъ его точка перегиба находится на 0,07 метра ниже этого уровня.

Чтобы заставить его функціонировать при пониженіи горизонта воды, дѣ-

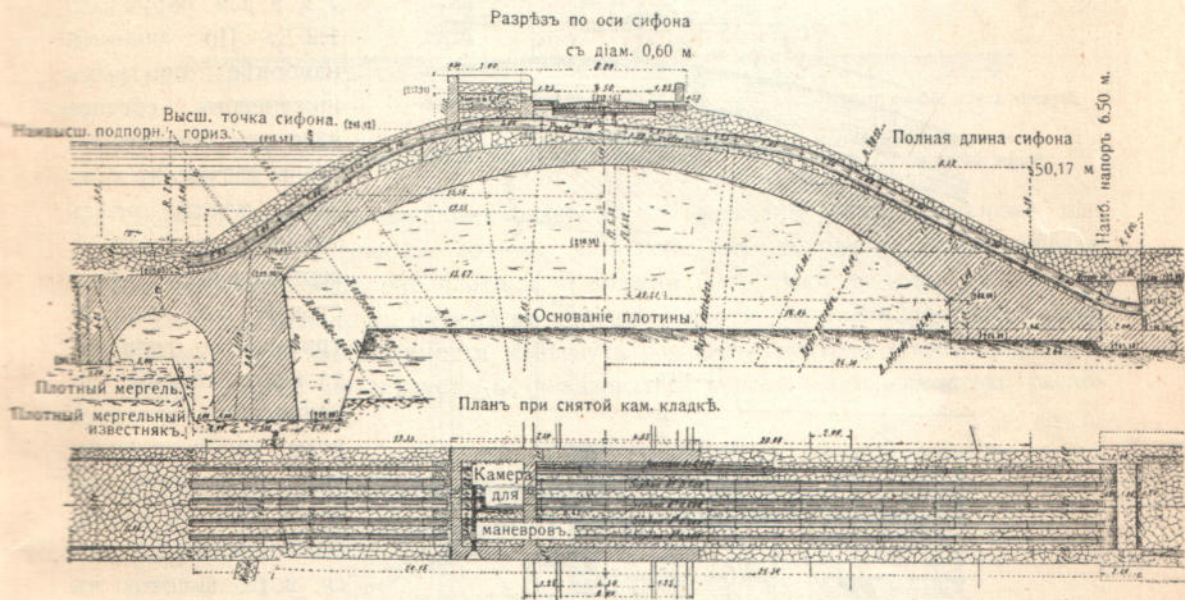


Рис. 114. Водослив-сифонъ de Bourdon.

лаютъ внутри его частичное разрѣженіе или посредствомъ воздушнаго насоса, приводимаго въ дѣйствіе ручнымъ способомъ, или посредствомъ истеченія изъ желѣзнаго резервуара, наполненнаго предварительно водой. Что касается приведенія въ дѣйствіе остальныхъ четырехъ сифонѣвъ, то это достигается посредствомъ соединенія каждаго изъ нихъ съ пятымъ. Съ этой цѣлью каждый сифонъ въ своей высшей точкѣ снабжается свинцовой трубкой съ діаметромъ 0,06 метра, которая въ свою очередь сообщается съ чугунной трубой съ діаметромъ въ 0,20 метра, при этомъ сифоны благодаря двойной системѣ кранѣвъ, могутъ быть соединены или съ чугунной трубой для приведенія ихъ въ дѣйствіе, или съ наружнымъ пространствомъ, для прекращенія ихъ функціонирования (рис. 115). Вся эта система кранѣвъ заключена внутри камеры, примыкающей сзади къ парапету съ верховой стороны плотины.

Плотины англійской системы. Въ Англіи, Америкѣ и Австраліи, гдѣ были сооружены многочисленныя водохранилища съ земляной плотиною для



водоснабженія городовъ, были примѣнены совсѣмъ иные способы, отличные отъ тѣхъ, которые получили распространеніе во Франціи. Центральную часть плотины составляетъ ядро изъ уплотненной глины, проникающее въ глубь земли до водонепроницаемаго слоя (рис. 116 А). Двѣ массы земли изъ мелкаго и мягкаго матеріала, на примѣръ изъ растительной земли, располагаются по обѣ стороны средняго ядра и въ свою очередь окружаются болѣе грубымъ имѣющимъ въ распоряженіи матеріаломъ, который дополняетъ собой плотину до проек-

наго профиля; откосы этой наружной массѣ земли придаются довольно пологіе, на примѣръ для внутренняго 1:3, а для наружнаго 1:2½. По даннымъ наиболѣе опытныхъ инженеровъ, среднее ядро изъ уплотненной глины должно въ каждомъ мѣстѣ имѣть толщину не менѣе ⅓ вертикальнаго разстоянія отъ разсматриваемаго горизонтальнаго сѣченія до наивысшаго горизонта воды въ водохранилищѣ. На примѣръ, глиняное ядро въ плотинѣ, подпирающей массу воды высотой въ 30 метровъ, должно имѣть не менѣе 10 метровъ толщины при основаніи. Что касается боковыхъ массъ земли, то онѣ должны имѣть толщину по крайней мѣрѣ равную толщинѣ средняго ядра.

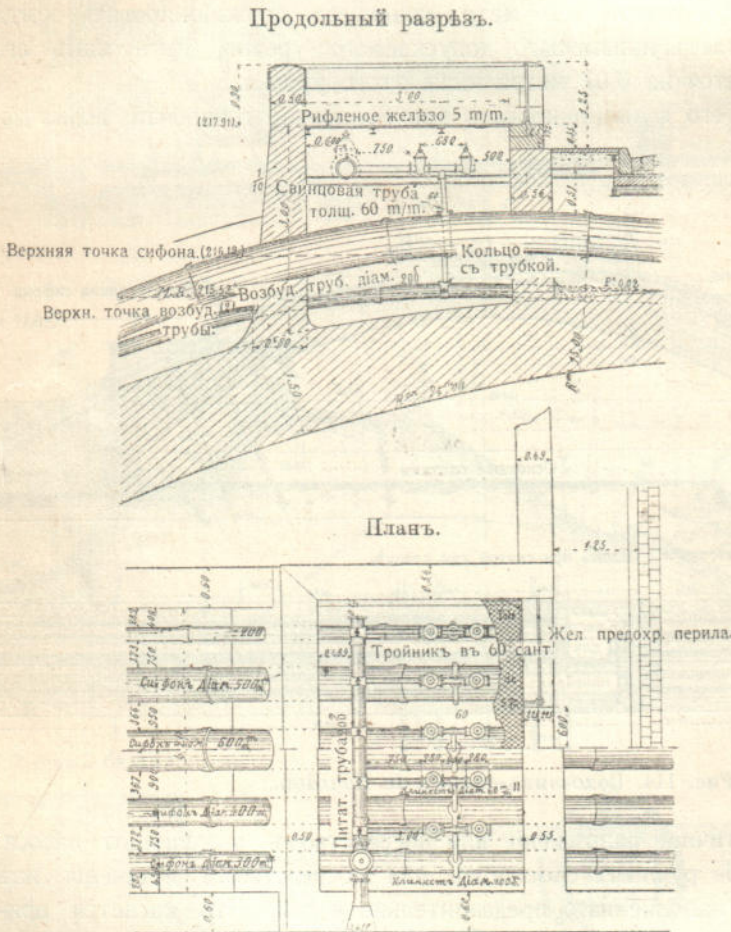


Рис. 115. Водосливъ-сифонъ de Bourdon.—Камера для управленія маневрамъ.

Въ то время какъ во французской системѣ каждый элементъ плотины способствуетъ одновременно и непроницаемости и устойчивости сооруженія, въ англійской системѣ масса плотины состоитъ изъ частей, имѣющихъ каждая свое специальное назначеніе, по крайней мѣрѣ съ теоретической точки зрѣнія.

Центральное ядро обезпечиваетъ непроницаемость.

Массы земли, примыкающія къ этому ядру съ обѣихъ сторонъ, должны предохранять послѣднее отъ дѣйствія воды съ верховой стороны и дѣйствія



воздуха съ противоположной, дѣйствій, которыя могли бы имѣть своимъ результатомъ образованіе трещинъ.

Насыпь, окружающая обѣ эти массы, необходима для обезпеченія устойчивости. Не слѣдуетъ однако думать, что эта насыпь можетъ быть выполнена безъ специальныхъ предосторожностей. Ее слѣдуетъ насыпать тщательно утрамбовываемыми слоями толщиной около 0,15 метр.

По указаніямъ авторитетныхъ строителей въ подобнаго рода плотинахъ

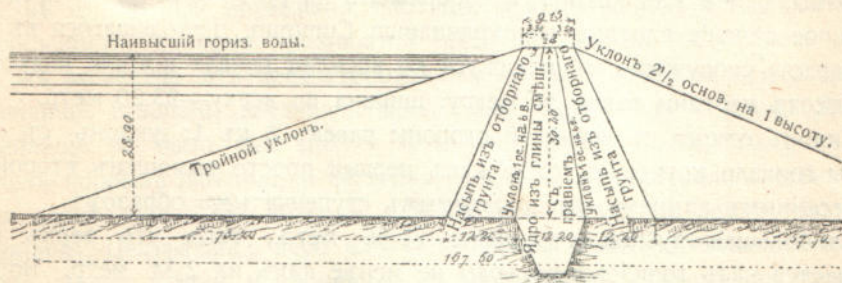


Рис. 116 А. Плотина англійской системы.

не слѣдуетъ допускать никакихъ отверстій для истеченія воды. Каменные или металлическіе водопроводы должны выходить изъ колодцевъ, построенныхъ внутри водохранилищъ внѣ плотины, и должны быть располагаемы на одномъ изъ склоновъ долины въ выемкѣ въ хорошо сопротивляющихся грунтахъ и даже въ тоннелѣ, при необходимости избѣгнуть рыхлыхъ грунтовъ. Чтобы выполнить послѣднее условіе, не слѣдуетъ останавливаться передъ необходимостью распо-

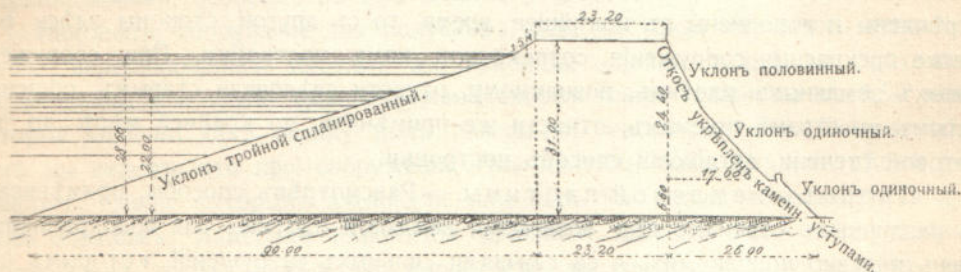


Рис. 116 В. Плотина водохранилища de Commun въ Индіи.

лагать водопроводъ на нѣсколько метровъ выше дна водохранилища, съ тѣмъ чтобы для полного опорожненія послѣдняго прибѣгнуть къ устройству сифона.

Плотины въ Индіи. Въ Индіи было устроено очень много водохранилищъ съ цѣлю орошенія. Такъ, въ одной провинціи Мадрасъ насчитывается отъ 50.000 до 60.000 водохранилищъ, плотины которыхъ составляютъ въ общей сложности длину въ 50.000 километровъ. Большинство плотинъ возведено здѣсь изъ земли, при чемъ нѣкоторыя изъ нихъ построены въ глубокой древности. Нетрудно составить себѣ представленіе, какъ производились подобнаго рода работы въ эти отдаленныя времена.

Для сооруженія плотины собиралось все населеніе данной мѣстности, мужчины, женщины, дѣти. Вооружившись лопатой и корзиной, каждый бралъ со



склоновъ сосѣднихъ холмовъ немного земли, которую онъ затѣмъ выкладывалъ на мѣстѣ возведенія сооруженія. Утоптываніе ногами этихъ людей, среди которыхъ были также и животныя, иногда даже слоны, представляло прекрасный способъ трамбованія, дополняемый попеременнымъ дѣйствіемъ ливней, приносимыхъ муссономъ, и палящихъ лучей солнца. Такимъ, незамѣтнымъ образомъ при исключительно хорошихъ условіяхъ въ смыслѣ однородности, плотности и непроницаемости воздвигались эти огромныя массы земли, настоящіе искусственныя холмы, одинъ изъ которыхъ изображенъ на рис. 116 В. Здѣсь представлено поперечное сѣченіе плотины водохранилища Cumtun, находящагося въ провинціи Мадрасъ; сооруженіе ея относится ко времени начала исторіи индусовъ.

Высота плотины равна 31 метру; ширина по верху—23,20 метр.

Уклонъ откоса съ верховой стороны равенъ 3 къ 1; уклонъ съ низовой стороны гораздо круче; но, тогда какъ первый просто вымощенъ, второй укрѣпленъ тесаннымъ камнемъ, располагаемымъ ступенчатымъ образомъ.

Наибольшая глубина воды равна 28,66 метр., такъ что верхъ плотины возвышается надъ горизонтомъ воды не менѣе какъ на 2,34 метр. Водоспуски были сдѣланы въ двухъ концахъ плотины, то есть въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ плотина упирается въ склоны долины.

Что касается водослива, то онъ устроенъ въ двухъ съ половиной километрахъ отъ плотины въ видѣ выемки, сдѣланной въ сосѣднихъ холмахъ; изъ водослива воды попадаютъ въ балку, по которой, пройдя значительное разстояніе, онѣ стекаютъ въ главную долину. Повидимому, здѣсь тщательно избѣгали подвергать плотину и склоны, на которые она опирается, дѣйствию слоя переливающейся воды. Если очень большое число водохранилищъ Индіи представляетъ собой очень старыя сооруженія, которыя были только усовершенствованы, укрѣплены и дополнены въ новѣйшее время, то съ другой стороны здѣсь есть также прекрасныя сооруженія современной намъ постройки. При сооруженіи новыхъ земляныхъ плотинъ, повидимому, отчасти слѣдовали старымъ общепринятымъ въ странѣ приемамъ, отчасти же примѣняли, по крайней мѣрѣ до нѣкоторой степени, англійскій способъ постройки.

Прорывъ земляной плотины. — Разсмотрѣвъ способы, примѣняемые въ различныхъ странахъ при возведеніи земляной плотины для водохранилища, очень полезно познакомиться со случаями сильныхъ разрушеній, которымъ подверглись нѣкоторыя изъ этихъ сооруженій.

Прорывъ плотины de Longpendu на каналѣ du Centre 24 вентоза IX года является первымъ случаемъ, относительно котораго извѣстны нѣкоторыя подробности. Этотъ прорывъ былъ вызванъ фильтраціями черезъ тѣло плотины и причинилъ много вреда: четыре человѣка сдѣлались жертвой этого случая. Прорывъ плотины du Plessis 25 декабря 1825 г. на томъ же каналѣ явился слѣдствіемъ засоренія водосливовъ во время сильныхъ дождей. Вода поднялась выше плотины, которая и была затѣмъ снесена.

Прорывъ плотины бассейна Berthaud, на томъ же каналѣ du Centre 14 апрѣля 1829 г. обусловливался болѣе сложными причинами. Горизонтъ воды поднялся на 0,50 метра выше нормального, такъ что верхъ плотины возвышался надъ водой только на 0,50 метр.; затѣмъ поднялся сильный вѣтеръ, продолжавшійся втеченіе нѣсколькихъ дней и вызывавшій большія волны, которыя быстро раз-



рушали верхнюю часть и наружный откосъ плотины. Когда рѣшились понизитъ горизонтъ воды, было слишкомъ поздно; уже нельзя было воспрепятствовать прорыву и сносу плотины.

Прорывъ плотины Tabia въ 1856 г., въ Алжирѣ, обусловливался одновременнымъ дѣйствіемъ фильтрацій и быстрой прибыли воды въ запруженномъ потокѣ.

Прорывъ плотины Bradfield, въ Англіи, происшедшій въ 1864 г. 12 марта, принялъ размѣры настоящей катастрофы. Мы уже говорили о способѣ, примѣняемомъ въ Англіи при возведеніи плотины водохранилища, и о тѣхъ мѣрахъ предосторожности, которыя признаются здѣсь инженерами безусловно необходимыми. Къ несчастію эти предосторожности не были приняты при сооруженіи водохранилища Bradfield, предназначеннаго для водоснабженія города Sheffield'a; водохранилище не было еще вполнѣ наполнено водой въ первый разъ, какъ произошелъ прорывъ плотины, и четвертая часть ея объема была снесена водой.

При длинѣ около 382 метровъ эта плотина имѣла по верху только 3,66 метра ширины. Центральное ядро изъ уплотненной глины возвышалось на 27,45 метр. надъ дномъ долины и проникало въ нѣкоторыхъ мѣстахъ въ грунтъ болѣе чѣмъ на 18 метр. Эта перегородка толщиною въ 5,50 метр. при основаніи и 1,22 метр. при вершинѣ далеко не удовлетворяла поставленному выше условію относительно толщины глинянаго ядра.

Вопреки общепринятымъ правиламъ ядро не было окружено мелкимъ матеріаломъ, а прикрывалось съ верховой и низовой стороны массами земли, прямо взятыми со склоновъ долины, при чемъ наружные откосы этихъ массъ имѣли уклонъ  $2\frac{1}{2}$  основанія на 1 высоту. Земля прямо выгружалась изъ вагоновъ и совсѣмъ не трамбовалась, вслѣдствіе чего боковыя массы далеко не были водонепроницаемыми, особенно въ ихъ верхнихъ частяхъ.

Наконецъ, сооруженіе для попусковъ воды состояло изъ двухъ чугунныхъ трубъ, пересѣкающихъ плотину въ наиболѣе низкой точкѣ на протяженіи 150 метровъ. Эти трубы были окружены слоемъ глины толщиною въ 0,50 метр., который конечно далъ осадку подъ давленіемъ массы плотины. Такимъ образомъ мы видимъ, что при сооруженіи этой плотины былъ сдѣланъ цѣлый рядъ ошибокъ, вліяніе которыхъ англійскій инженеръ Rawlinson объясняетъ слѣдующимъ образомъ. Наиболѣе вѣроятной причиной прорыва было вышеуказанное расположеніе трубъ. Вслѣдствіе пористости матеріаловъ, окружающихъ ядро плотины, вода могла проходить здѣсь внутрь ея тѣла. Когда, при наполненіи водохранилища, горизонтъ воды въ немъ сталъ подниматься, вода стала искать выхода черезъ плотину и естественно нашла его въ пространствѣ около трубъ. Отсюда—такое быстрое и ужасное по своимъ послѣдствіямъ разрушеніе... По его мнѣнію, ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ допускать устройства водопроводовъ въ какой бы то ни было части плотины.

Какъ мы уже говорили выше, катастрофа произошла 12 марта 1864 г., когда до наполненія водохранилища оставалось еще 1,50 метра. Сначала въ верхней части плотины обнаружилась трещина. Прежде чѣмъ успѣли принять серьезныя мѣры, трещина быстро разрослась въ цѣлый провалъ, и затѣмъ около четверти объема земли было снесено водой (около 70,000 куб. метр.). Менѣе чѣмъ въ полчаса 3.100.000 куб. метр. воды, содержавшіеся въ резервуарѣ, утекли



и затопили городъ Sheffield. Несчастіе случилось совершенно неожиданно среди ночи. Отчетомъ о катастрофѣ даются слѣдующія цифровыя данныя: 798 домовъ были совершенно или частью разрушены, 4,354 затоплены; число жертвъ достигло 238.

Приведемъ еще данныя о прорывѣ плотины водохранилища South-Fork, вблизи Johnstawn, въ Америкѣ, происшедшемъ въ 1889 г. Катастрофа, имѣвшая здѣсь мѣсто, оставляетъ далеко позади себя всѣ предшествовавшія, такъ какъ число жертвъ насчитывается здѣсь не менѣе 10,000, погибшихъ частью отъ наводненія, частью отъ пожара, фатально совпавшаго съ первымъ и довершившаго собою разрушеніе.

Между 1879 и 1881 г. высота подпора въ водохранилищѣ, достигавшая первоначально только 62 фут. (18,91 метр.), была доведена до 69 фут. (21,05 метр.), при чемъ вмѣстимость резервуара возросла до 45 миллионовъ куб. метр. Плотина была построена по англійскому способу съ той лишь разницей, что вмѣсто глинистаго ядра здѣсь имѣлась каменная стѣна. Съ низовой стороны эта стѣна поддерживалась насыпью изъ земли и камня съ одиночнымъ откосомъ, съ верховой же стороны насыпь, состоявшая изъ болѣе мелкаго и менѣе водонепроницаемаго матеріала имѣла двойной уклонъ и была укрѣплена одеждой изъ сухихъ камней довольно большихъ размѣровъ.

Въ маѣ 1889 года въ мѣстности расположенія плотины выпали сильные дожди, и резервуаръ наполнился съ необыкновенной быстротой. Пропускная способность водослива была совершенно недостаточна для того, чтобы остановить подъемъ воды, а донный водоспускъ былъ испорченъ и не могъ функционировать. 31 мая около четырехъ часовъ вечера, несмотря на запоздалую попытку прорыть каналъ для стока воды въ склонѣ долины, вода поднялась выше гребня плотины и вскорѣ произошелъ прорывъ. Судя по описаніямъ, сначала прорывъ очень быстро разрастался въ глубину, не увеличиваясь значительно въ ширину, но затѣмъ внезапно была снесена вся плотина на протяженіи 90 метр. ея долины. Черезъ это громадное отверстіе устремился огромный объемъ воды, образуя волну высотой въ 15 метровъ, которая втеченіи 17 минутъ пробѣжала разстояніе отъ плотины до Johnstown, то есть 19 километровъ. Слѣдовательно, скорость движенія волны доходила до 70 километровъ въ часъ; можно судить по этимъ даннымъ о разрушающей силѣ такого водяного вала.

Выводы.—Первое заключеніе, которое можно сдѣлать на основаніи предыдущаго, это—что въ случаѣ подъема воды выше гребня плотины, послѣднюю слѣдуетъ считать потерянной, и что поэтому не слѣдуетъ останавливаться ни передъ какими издержками для предотвращенія подобнаго явленія. Съ этой цѣлью слѣдуетъ располагать верхъ плотины на значительной высотѣ надъ нормальнымъ горизонтомъ; необходимо кромѣ того располагать достаточными средствами для выпуска воды, чтобы даже въ случаѣ исключительно большихъ паводковъ вода не могла подняться выше нѣкотораго наивысшаго уровня, назначеннаго для подпорнаго горизонта. Именно вслѣдствіе недостаточности средствъ для выпуска воды произошли катастрофы съ плотинами водохранилищъ Plessis, Tabia и South-Fork.

Не лишнимъ будетъ здѣсь напомнить также о тѣхъ мѣрахъ предосторожности, которыя слѣдуетъ принимать противъ волнъ, разрушающее дѣйствіе ко-



торыхъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ обширнѣе и глубже водохранилище и чѣмъ невыгоднѣе оно расположено относительно господствующихъ въ данной мѣстности вѣтровъ. Эти мѣры въ существенныхъ чертахъ состоятъ въ слѣдующемъ: 1) необходимо защитить откосъ отъ вліянія воды одеждой изъ кладки на растворѣ, которую въ настоящее время обыкновенно дѣлаютъ въ видѣ уступовъ; 2) гребень плотины слѣдуетъ поднять на достаточную высоту надъ нормальнымъ горизонтомъ; 3) на этомъ гребнѣ необходимо поставить прочный каменный парапетъ. Второй непосредственный выводъ это — необходимость полной непроницаемости плотины. Очень важно, чтобы не существовало никакихъ трещинъ ни въ самомъ тѣлѣ плотины, ни въ мѣстѣ соприкосновенія ея съ естественнымъ грунтомъ.

Съ этой точки зрѣнія расположеніе сооружений для попусковъ воды внутри самой массы плотины нельзя не признать опаснымъ: самое рациональное устраивать эти сооружения вполне независимо отъ самой плотины. Игнорированіе этого правила предосторожности, повидимому, было главной причиной прорыва плотины Bradfield. Для достиженія той же непроницаемости однородность массы и тщательность при производствѣ работъ имѣютъ капитальное значеніе. Что касается этихъ требованій, то, несомнѣнно, индусскій способъ сооруженія самый совершенный.

Вотъ что говорить по этому поводу уже упомянутый нами инженеръ Rawlinson: «Индусскій способъ, при примѣненіи котораго не дѣлаютъ выемокъ въ основаніи плотины и не пользуются спеціальнымъ утрамбованнымъ ядромъ, заслуживаетъ внимательнаго и серьезнаго изученія. Подземные слои земли могутъ безопасно выдерживать значительное давленіе воды, если не нарушено ихъ наслоеніе. Но, если слои земли перерѣзаны глубокими выемками, при чемъ, вслѣдствіе удаленія значительнаго количества грунта между пластами земли произошли трещины, тогда могутъ получиться такія условія, при которыхъ нельзя возстановить хорошее сопротивленіе грунта и придется вслѣдствіе этого прибѣгать къ дорогостоящимъ работамъ.

Насыпь безъ ядра и выемокъ, заполненныхъ глиною, образованная изъ тонкихъ слоевъ земли хорошаго качества, построенная медленнымъ путемъ и законченная площадкой, ширина которой не менѣе половины высоты плотины, не можетъ быть легко унесена водою».

Очевидно, что медленный, кропотливый способъ индусовъ не согласуется съ современными культурными условіями. Но слѣдуетъ признать, что французская метода постройки ближе всего подходитъ къ индусской, насколько это возможно въ современную намъ эпоху.

Принципъ однородности проведенъ здѣсь безусловно, безъ всякихъ уклоненій, а сильныя механическія средства, до нѣкоторой степени, возмѣщаютъ дѣйствіе времени и утаптываніе ногами людей. Мы уже видѣли, какую осторожность надо соблюдать при выборѣ земли для сооруженія плотины, если желательно избѣжать сползовъ и дорогостоящихъ позднѣйшихъ исправленій; мы указывали также, что при соотвѣтственной смѣси глины и песку съ прибавленіемъ, по мѣрѣ надобности, извести, можно получить отличные результаты, не давая гребню плотины такой огромной ширины, какъ въ сооруженияхъ индусовъ.

Плотины смѣшанной системы (изъ земли и камня). — Среди соору-



женій этого рода самымъ замѣчательнымъ является водохранилище de Saint-Ferréol, построенное болѣе двухсотъ лѣтъ тому назадъ (1667—1671) для питанія канала du Midi (рис. 117).

Плотина, поддерживающая подпоръ воды въ 31,33 мет. считая надъ порогомъ доннаго водоспуска, представляетъ огромную насыпь, ширина которой при основаніи доходитъ до 140 метровъ; съ верховой и низовой стороны насыпь поддерживается стѣнами высотой отъ 10 до 20 метровъ, а внутри ея во всю высоту идетъ стѣна, дѣлящая плотину на двѣ неравныя и различныя части.

Гребень насыпи съ верховой стороны располагается на 10 метровъ ниже подпорнаго горизонта, между тѣмъ какъ съ низовой стороны насыпь поднимается даже выше этого уровня; толщина средней стѣны, образующей перегородку, составляетъ 6 метровъ почти на всей ея высотѣ. Повидимому, по идеѣ строителей эта каменная кладка должна была дать плотинѣ необходимую водонепроницаемость, тогда какъ земляныя насыпи оказывали сопротивленіе опрокидывающему усилію. Однако, сомнительно, чтобы въ дѣйствительности существовало такое точное распредѣленіе ролей между кладкой и насыпью; весьма вѣроятно, что средняя стѣна выдерживаетъ часть давленія, оказываемаго водой на всю систему, но отсутствіе однородности во всей массѣ не даетъ возможности опредѣлить, насколько каждая часть сооруженія соответствуетъ тѣмъ усиліямъ, которымъ она должна сопротивляться. Minard утверждаетъ, что на самомъ дѣлѣ стѣны Saint-Ferréol немного подались подъ вліяніемъ давленія, но, по всей вѣроятности, это движеніе возстановило равновѣсіе, такъ какъ это замѣчательное сооруженіе не перестаетъ успѣшно функционировать въ продолженіе всего своего двухсотлѣтняго существованія.

Выпускъ воды дѣлается посредствомъ трехъ трубъ, пересекающихъ среднюю стѣну и открывающихся въ двѣ галереи, построенныя подъ откосами плотины, одна съ верховой, другая съ низовой стороны.

Чтобы облегчить осмотръ трубъ, а также и опорожненіе резервуара, съ верховой стороны имѣется двѣ галереи, расположенныя одна надъ другой. Онѣ

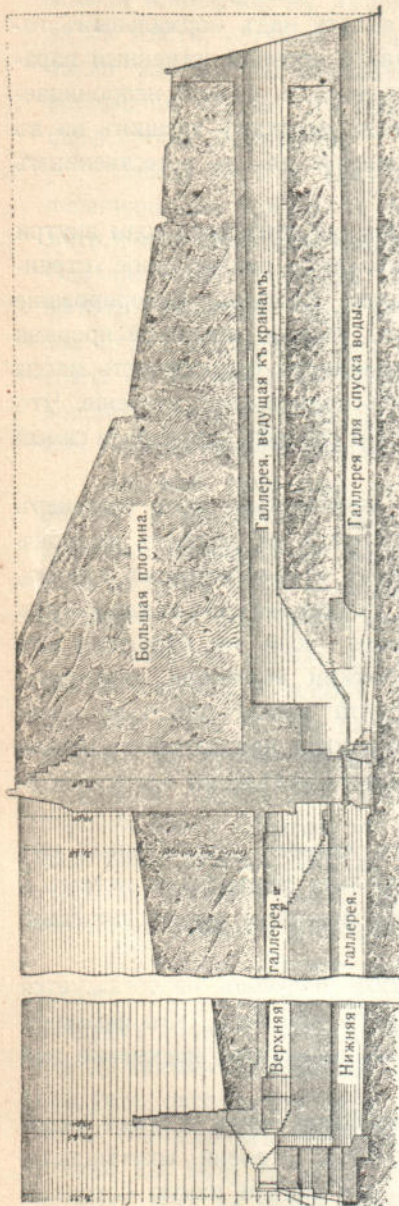


Рис. 117. Плотина водохранилища de Saint-Ferréol.



сообщаются между собой вблизи средней стѣны, при чемъ лѣстница позволяетъ спуститься изъ верхней галереи до верха нижней галереи, служащей для истеченія воды. Въ этомъ уровнѣ устраивается площадка, съ которой управляютъ затворомъ доннаго водоспуска, расположеннаго подъ трубами для попусковъ воды. Отсюда видно, что такое маневрированіе возможно лишь тогда, когда водохранилище почти опорожнено.

Съ низовой стороны также имѣется двѣ галереи, но онѣ въ планѣ расположены различно. Верхняя галерея даетъ доступъ къ кранамъ, нижняя же служитъ для выпуска воды.

Количество воды, пропускаемое кранами, доходитъ до 64.000 кубич. метровъ въ сутки, при высотѣ подпора воды въ 25 метровъ. Верхній слой воды толщиной въ 6 метровъ, чаще всего утилизируемый для питанія, выпускается черезъ два верхнихъ водопровода, которые сдѣланы независимо отъ описаннаго устройства.

Водохранилище de Couzon.—Это водохранилище построено въ промежуткѣ между 1789—1812 год. для питанія канала Givors: Плотина водохранилища, преграждающая долину рѣки Couzon и дающая подпоръ воды въ 31 метръ высотой, построена по тѣмъ же принципамъ, что и плотина Saint-Ferréol. Она также состоитъ изъ сплошной массы земли, заключенной между двумя подпорными стѣнами и раздѣленной средней стѣной на двѣ части.

Насыпь съ верховой стороны имѣетъ толщину въ 47 метровъ и поддерживается стѣною въ 10 метровъ высотой при средней толщинѣ ея въ 4 метра; съ низовой стороны толщина насыпи равна 53 метрамъ, а высота подпорной стѣны доходитъ до 18,50 метр. при средней высотѣ ея въ 5 метр. Средняя стѣна имѣетъ при основаніи толщину въ 6,80 метр. и при вершинѣ 3,20 метр. Ширина всей массы плотины при основаніи равна 117,77 метр. Дополнительные сооруженія представляютъ полную аналогію съ такими же сооружениями водохранилища de Saint-Ferréol.

Водохранилище Duming.—Плотина этого водохранилища, сооруженнаго въ Соединенныхъ Штатахъ между 1887—1889 г. для водоснабженія города Scrouton, состоитъ изъ двухъ частей, построенныхъ по совершенно различнымъ типамъ. Одна половина, которая могла быть возведена на материкѣ, цѣликомъ образована изъ кладки; другая половина, сооруженная на глинисто-песчаномъ основаніи, состояла изъ огромной земляной массы съ каменной стѣной по срединѣ; слѣдовательно эта часть плотины приближается къ типу, примѣненному въ Saint-Ferréol и Couzon. По этому же типу была построена плотина водохранилищъ South-Fork, памятная по ужасной катастрофѣ. Въ водохранилищѣ Duming высота подпора составляетъ 50 фут. (15,25 м.); стѣна, образующая перегородку, врѣзывается въ естественный грунтъ и имѣетъ толщину при основаніи 12 фут. (3,36 м.), а при вершинѣ 4 фут. (1,22 м.).

Водохранилище Gasco на Guadarrama.—Плотина въ этомъ водохранилищѣ была разрушена, не будучи еще закончена постройкой; она заслуживаетъ однако упоминанія, хотя бы только по причинѣ исключительно большой высоты, до которой ее хотѣли довести. Двѣ каменные стѣны толщиной въ 2,80 метр. каждая, ограничивали плотину съ верховой и низовой стороны; онѣ были соединены поперечными стѣнами съ которыми образовывали рядъ отдѣленій.



Послѣднія были заполнены камнемъ съ глиной (родъ бетона, въ которомъ связующимъ веществомъ была глина). Плотина была доведена до высоты 57,12 метр., когда наружная стѣна была опрокинута. Послѣ этого случая, который приписали вспучиванію глины вслѣдствіе дождей, сооруженіе было оставлено незаконченнымъ.

Водохранилище Кабра. — Плотина водохранилища Кабра можетъ служить примѣромъ типа, довольно распространеннаго въ англійской Индіи, который въ нѣсколькихъ словахъ можетъ быть охарактеризованъ слѣдующимъ образомъ: плотина состоитъ изъ каменной стѣны, имѣющей сѣченіе болѣе или менѣе подобное сѣченію набережной и упирающейся снаружи въ солидную земляную массу. На рис. 118 представлена такая плотина водохранилища Кабра. Недостатки этого типа тѣ-же, что и типа Saint-Ferréol. Если каменная кладка служитъ здѣсь только для обезпеченія водонепроницаемости, то очевидно толщина ея слишкомъ велика; если же она должна также способствовать устойчивости плотины, то невозможно опредѣлить, въ какой мѣрѣ это сопротивленіе опрокидыванію слѣдуетъ отнести къ земляной массѣ и въ какой мѣрѣ къ каменной кладкѣ.

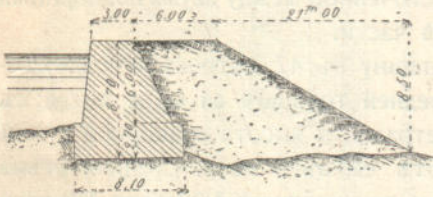


Рис. 118.

Водохранилище озера Орэдон. — Въ противоположность только что описаннымъ типамъ можно считать вполне рациональной и удовлетворительной конструкцію плотины на озерѣ Орэдон, благодаря которой послѣднее обращено въ водохранилище.

Воды изъ озера Орэдон, текутъ въ долину Neste'ы, которая несетъ ихъ въ Гаронну. Оно расположено вблизи линіи водораздѣла Neste'ы и притоки Рау, на высотѣ 1852 метр.

Благодаря плотинѣ, позволившей поднять естественный горизонтъ на 17 метровъ, была значительно увеличена водная поверхность и вмѣстимость озера. Съ другой стороны, въ скалистой мели, образующей естественный водосливъ озера, была прокопана траншея, предназначенная для помѣщенія галереи, въ которой расположили приспособленія для опоражниванія; эта-же галерея позволяла выпускать воду на уровнѣ 7 метровъ ниже естественнаго горизонта, благодаря чему утилизируемый слой воды былъ доведенъ до 24 метровъ, а его объемъ до 7.270.900 кубич. метр. (рис. 119).

Плотина, предназначенная для образованія искусственнаго подпора, была сооружена изъ гравелистаго грунта, находившагося вблизи; такой матеріалъ не давалъ возможности получить водонепроницаемую насыпь.

Поэтому откосъ со стороны воды былъ укрѣпленъ каменной кладкой, которая и имѣла своимъ единственнымъ назначеніемъ—давать запрудѣ необходимую непроницаемость, между тѣмъ какъ насыпь даетъ ей требуемую устойчивость. По мѣрѣ того какъ матеріалъ клался въ насыпь, его тщательно очищали водой отъ землистыхъ частицъ, такъ что масса плотины состояла только изъ доски и камней, которые, будучи перемѣшаны, образывали несжимаемую массу.

Одежда изъ каменной кладки, о которой мы говорили выше, состоитъ изъ



слѣдующихъ послѣдовательныхъ слоевъ: изъ каменной кладки на сухо съ полуторнымъ уклономъ; слоя бетона толщиной въ 0,20 метра; второго ряда сухой кладки, толщиной въ 0,30 метра, служащаго общимъ дренажемъ, собирающимъ проникшую вслѣдствіе фильтраціи воду, при чемъ лежащій подъ этой кладкой слой бетона выполняетъ роль лотка. Внизу эта кладка располагается надъ поперечной галлереей шириною въ 1 метръ и высотой въ 1,50 метра, устроенной у подошвы первого слоя кладки; галлея отводитъ воды фильтраціи въ водопроводъ для опоражниванія.

Надъ этимъ вторымъ слоемъ сухой кладки располагаются въ послѣдова-



Рис. 119.

тельномъ порядкѣ: солидный слой бетона, толщиной въ 1,60 метра при основаніи и въ 1,20 метр. при вершинѣ; слой асфальта толщиной въ 0,02 метра и третій слой сухой кладки, толщиной въ 1 метръ, служащій защитой противъ удара волнъ, льда и проч. (рис. 120).

Такое укрѣпленіе откоса плотины, имѣющее своимъ назначеніемъ воспрепятствовать проникновенію воды въ тѣло плотины, дало хорошіе результаты, хотя слой асфальта не оправдалъ возлагаемыхъ на него надеждъ. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онъ былъ обнаженъ съ цѣлью исправленій, обнаружилась вслѣдствіе впусчиванія недостаточная связь съ покрываемымъ имъ слоемъ бетона.

При сооруженіи этого типа плотины пользуются въ изобиліи водопроницаемымъ матеріаломъ, который однако даетъ насыпи большую прочность и устойчивость. Благодаря тщательному промыванію матеріала, по мѣрѣ употребленія его въ насыпь, удаляются всѣ землистыя частицы, которыя, быть можетъ, сдѣлали бы плотину менѣе проницаемой, но за то лишили бы ее абсолютной несжимаемости. Такимъ путемъ обеспечивается полная устойчивость массы, что же касается ея непроницаемости, то она, какъ мы видѣли, достигается рациональнымъ строеніемъ одежды верхового откоса.

Итакъ, въ этой системѣ каждая часть имѣетъ свое опредѣленное и специальное назначеніе, вслѣдствіе чего разрушеніе одежды откоса, которое къ тому-же всегда можетъ быть во время замѣчено, нисколько не повредитъ устойчивости сооруженія.

Итакъ, въ этой системѣ каждая часть имѣетъ свое опредѣленное и специальное назначеніе, вслѣдствіе чего разрушеніе одежды откоса, которое къ тому-же всегда можетъ быть во время замѣчено, нисколько не повредитъ устойчивости сооруженія.

Примѣненіе металла. — Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, составляющихъ пока исключеніе, для сооруженія плотинъ пользовались металлическими частями.

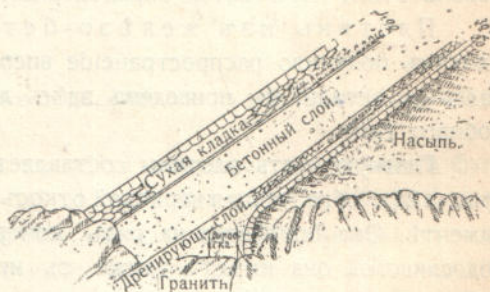


Рис. 120.



Примѣромъ примѣненія металла можетъ служить стальная плотина, построенная въ Соединенныхъ Штатахъ въ Arizon'ѣ у Ash-Fork для образованія водохранилища, предназначеннаго для водоснабженія города этого названія, а также нѣсколькихъ желѣзныхъ дорогъ.

Длина металлической плотины равна 56 метрамъ поверху. Своими двумя концами она проникаетъ въ бетонные устои, которые доводятъ общую длину ея до 91,20 метр. Наибольшая высота равна 14 метрамъ. Металлическая часть въ существенныхъ чертахъ состоитъ изъ 24 треугольных стальныхъ фермъ. Эти фермы установлены на бетонныхъ фундаментахъ и скрѣплены четырьмя системами перекрещивающихся связей; промежутки между смежными фермами перекрыты стальными листами толщиной въ 0,609 метра, дугообразно изогнутыми въ поперечномъ направленіи и приклепанными по краямъ къ фермамъ.

На мѣстѣ расположенія плотины повсюду встрѣчается порода вулканическаго происхожденія, очень твердая, хотя и представляющая довольно частыя трещины и пустоты. Разсчитывая на сопротивленіе грунта, плотина была построена такъ, что она можетъ служить также водосливомъ, при чемъ слой переливающейся воды можетъ достигнуть толщины 1,824 метр. Благодаря такому устройству въ водохранилищѣ нѣтъ specialнаго сооруженія для регулированія и опорожненія; для пусковъ воды здѣсь существуетъ чугунный водопроводъ діаметромъ въ 0,150 метр., окруженный бетономъ и расположенный на днѣ траншеи, прорытой въ скалистомъ основаніи.

Въ конструкціяхъ подобнаго рода расширение и сжатіе металла подъ вліяніемъ измѣненій температуры должны безъ сомнѣнія представлять серьезное затрудненіе. Какъ разрѣшено это затрудненіе въ плотинѣ Ash-Fork, — относительно этого не имѣется опредѣленныхъ данныхъ.

Плотины изъ желѣзо-бетона. — Примѣненіе желѣзо-бетона для плотинъ получило распространеніе впервые въ Соединенныхъ Штатахъ. Не вдаваясь въ детали, мы приведемъ здѣсь лишь краткія свѣдѣнія о сооруженіяхъ подобнаго типа.

Главную часть плотины составляетъ желѣзобетонная наклонная стѣнка  $AB$  (рис. 121), образующая верховой откосъ ея и закрѣпленная въ точкѣ  $B$  въ фундаментѣ. Она опирается на рядъ контрфорсовъ  $ABC$ . Когда плотина служитъ водосливомъ, она имѣетъ также съ низовой стороны желѣзобетонную стѣнку  $AC$  двойной кривизны. Легко понять, что подобная плотина не можетъ ни скользить по основанію, ни быть опрокинутой, если уголъ  $\beta$ , который составляетъ съ вертикалью стѣнка  $AB$ , равенъ по крайней мѣрѣ  $45^\circ$ . Въ самомъ дѣлѣ, вѣсъ воды, который дѣйствуетъ на стѣнку  $AB$ , равенъ  $0,5 y^2 \operatorname{tg} \beta$ , а величина горизонтальной силы, стремящейся сдвинуть плотину, равна  $0,5 y^2$ . Отношеніе второй силы къ первой равно  $\operatorname{cotg} \beta$ . Если черезъ  $f$  обозначимъ коэффициентъ тренія контрфорсовъ по ихъ основанію, то, очевидно, что при  $\operatorname{cotg} \beta = f$  плотина скользить не можетъ. Если  $f$  принять равнымъ 0,75, то получимъ  $\beta = 53^\circ$ .

Но мы приняли во вниманіе только вѣсъ воды, а потому достаточно, чтобы вѣсъ самой плотины равнялся одной трети вѣса воды, и плотина не будетъ скользить при  $\beta = 45^\circ$ . Конечно закрѣпленіе въ  $B$  также оказываетъ извѣстное сопротивленіе скольженію. Разсмотримъ теперь сопротивленіе плотины опрокидыванію. Самый малый размѣръ, который можно дать контрфорсу—это прямо-



угольный треугольник  $ADB$ . Такимъ образомъ для этого крайняго случая и для  $\beta = 45^\circ$  давленіе  $P$ , нормальное къ стѣнкѣ  $AB$ , пересѣкаетъ основаніе  $BD$  на границѣ между крайней и средней его третью. Здѣсь-же проходитъ и вѣсь контрфорса, а потому, если принять во вниманіе вѣсь стѣнки  $AB$ , то мы вправѣ сказать, что равнодѣйствующая всѣхъ силъ пересѣкаетъ основаніе  $BD$  въ средней трети, и контрфосъ не испытываетъ нигдѣ растягивающаго усилія. Если  $AC$  перпендикулярно къ  $BC$ , то сила  $P$  пересѣкаетъ основаніе  $BC$  на границѣ крайней къ водохранилищу и средней трети. Понятно, что не представляетъ большого труда спроектировать такой профиль плотины, чтобы равнодѣйствующая всѣхъ дѣйствующихъ на нее силъ пересѣкала основаніе какъ разъ въ срединѣ основанія, благодаря чему давленіе по основанію распредѣлится равномерно. Соблюденіе этого условія особенно важно при слабыхъ грунтахъ. Когда подобная плотина должна быть возведена на гравелистомъ или вообще мало сопротивляющемуся грунтѣ, контрфорсы должны опираться на особый желѣзобетонный ростверкъ, который распредѣляетъ давленіе на всю длину сооруженія. Этотъ ростверкъ долженъ быть продолженъ нѣсколько съ низовой стороны, чтобы предотвратить возможность подмыва отъ переливающейся волны. Мѣстами въ немъ устроены отверстія, чтобы черезъ нихъ имѣли свободный выходъ воды фильтраціи, и не могло имѣть мѣсто давленіе воды снизу вверхъ.

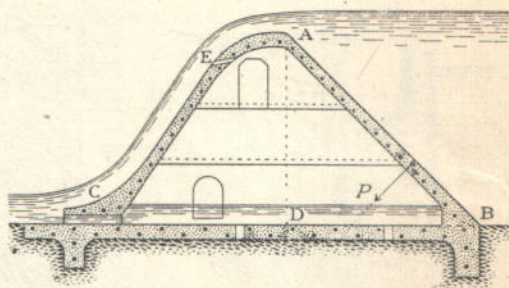


Рис. 121.

Плотина указаннаго на рисункѣ 121-мъ профиля была построена въ Нью-Йоркскомъ штатѣ на Batten Kill River, причѣмъ работы были начаты 27 сентября 1904 г., а окончены 31 декабря того-же года. Высота ея—8,50 метр., ширина 15,85 м. и длина 75 м.

Стѣнка  $AB$  наклонена подъ угломъ въ  $45^\circ$  и опирается на бетонный фундаментъ, сдѣланный въ скалѣ, шириною 1,5 м., глубиною 0,90 м. Контрфорсы, а равно и низовая стѣнка опираются прямо на основаніе. Чтобы дать выходъ водамъ фильтраціи, въ нижней части низовой стѣнки сдѣланъ рядъ отверстій. Кромѣ того устроены также и въ верхней ея части круглыя отверстія  $E$  діаметромъ 76 мм., цѣль которыхъ заключается въ томъ, чтобы воздухъ имѣлъ свободный доступъ подъ переливающуюся волну. Благодаря этому не замѣчается вовсе дрожанія плотины. Служебный мостикъ, опирающійся на контрфорсъ, устроенъ внутри сооруженія. Онъ представляетъ единственный способъ сообщенія между двумя берегами. Контрфорсы расположены ось отъ оси на разстояніи 2,46 м., причѣмъ ихъ толщина у основанія равна 0,457 м., а у вершины 0,305 м. На гребнѣ плотина имѣетъ толщину 0,457 м. и очертаніе по дугѣ круга. Верховая и низовая стѣнки имѣютъ толщину равную 0,230 м., при чемъ проволока, заѣланная въ бетонъ, имѣетъ толщину въ 19 мм. При толщинѣ переливающейся волны, равной 1,5 м. нигдѣ въ сооруженіи напряженіе не превосходитъ 5,4 килограм. на кв. сантиметръ.

Каменные плотины.—Примѣненіе камня для устройства плотинъ по-



служило толчкомъ къ значительному увеличенію подпоровъ въ водохранилищахъ. Дѣйствительно, съ помощью вычисленій можно найти тѣ силы, дѣйствию которыхъ при данныхъ условіяхъ подвергнуты различныя части каменной плотины, между тѣмъ какъ для опредѣленія размѣровъ земляной плотины приходится довольствоваться или сравненіемъ съ существующими сооружениями, или болѣе или менѣе заслуживающими довѣрія эмпирическими данными. Съ другой стороны, большія катастрофы, связанныя съ каменными плотинами, дали исключительно важное значеніе всѣмъ вопросамъ, связаннымъ съ устойчивостью этихъ сооружений.

Такимъ образомъ, изученіе каменныхъ плотинъ представляетъ свои особенности и свои трудности.

Здѣсь, еще въ большей степени, чѣмъ для земляныхъ плотинъ, вопросъ о прочности, а, слѣдовательно, и безопасности плотинъ отбѣсняетъ на второй планъ всѣ остальные задачи, какъ то: устройство дополнительныхъ сооружений, донныхъ водоспусковъ, водоспусковъ для попусковъ воды и проч. Поэтому, изученіе условій

устойчивости и прочности этихъ плотинъ должно быть поставлено на первомъ мѣстѣ. Что касается до опредѣленія поперечнаго сѣченія каменныхъ плотинъ, то объ немъ мы будемъ говорить особо, теперь же наше изученіе будетъ носить главнымъ образомъ практическій и статистическій характеръ, и съ этой точки зрѣнія полный,

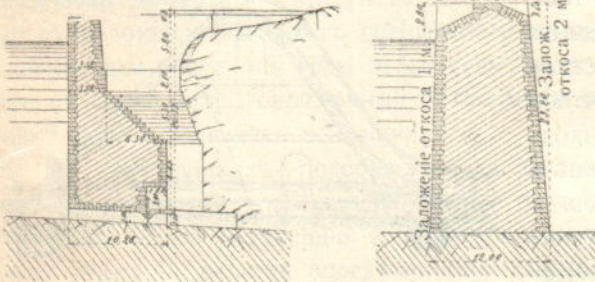


Рис. 122.

по возможности, обзоръ существующихъ въ различныхъ странахъ каменныхъ плотинъ представляетъ большой интересъ. Съ послѣдняго вопроса мы и начнемъ.

Старыя испанскія плотины. Въ Испаніи были сооружены первыя каменные плотины съ цѣлью образованія водохранилищъ для нуждъ орошенія. Эти сооружения располагаются на быстрыхъ водныхъ потокахъ, которыхъ режимъ вызываетъ необходимость въ устройствѣ нѣкоторыхъ специальныхъ особенностей конструкціи; но за то русло этихъ потоковъ, будучи очень стѣсненнымъ, представляетъ очень плотный скалистый грунтъ, что дѣлаетъ его въ высшей степени благоприятнымъ для устройства каменныхъ плотинъ. Нѣкоторыя изъ нихъ существуютъ въ продолженіи болѣе трехсотъ лѣтъ. Сюда относится плотина d'Almanza, для которой неизвѣстно точно время сооруженія, но которая уже функционировала въ 1586 г. (рис. 122). Эта плотина облицована большими тесаными камнями; ея наибольшая высота достигаетъ 20,69 метр.; ея ширина въ основаніи равна 10,28 метр., а при вершинѣ уменьшается до 2,90 метр. Плотина d'Alicante или de Tibi (рис. 122), построена въ 1579—1587 г. на рѣкѣ Monègre въ цѣляхъ орошенія. Ея наибольшая высота равна 41 метр., ширина при основаніи—37, 70 метр., а при вершинѣ—20 метр., т. е. ея профиль очень массивенъ.

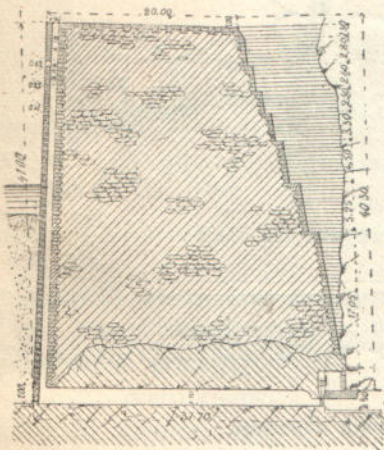
Гораздо меньшую толщину имѣетъ плотина d'Elche (рис. 122) сооруженная въ концѣ XVI-го столѣтія на рѣкѣ Vinalopo. Ея полная высота, правда, не пре-



вышаетъ 23.20 метр., но за то ширина не превосходитъ 12 мет. при основаніи и 9 метр. при вершинѣ.

Въ промежуткѣ отъ 1785 до 1791 г. на Guadalatin была сооружена плотина de Puentès (рис. 123), которая просуществовала только одиннадцать лѣтъ; 3-го апрѣля 1812 г. она была разрушена при обстоятельствахъ, о которыхъ мы будемъ говорить ниже. Ея полная высота достигаетъ 50,06 метр., ея ширина при основаніи равная 46 метр., уменьшается при вершинѣ до 10,89 метр. Плотина du Val de Inferno (рис. 124), построенная почти одновременно съ предыдущей, проектировалась первоначально высотой въ 40,50 метр., но была доведена только до 35,50 метр., считая надъ основаніемъ фундамента, что объясняется тѣмъ, что

Плотина d'Alicante.



Плотина de Puentès.

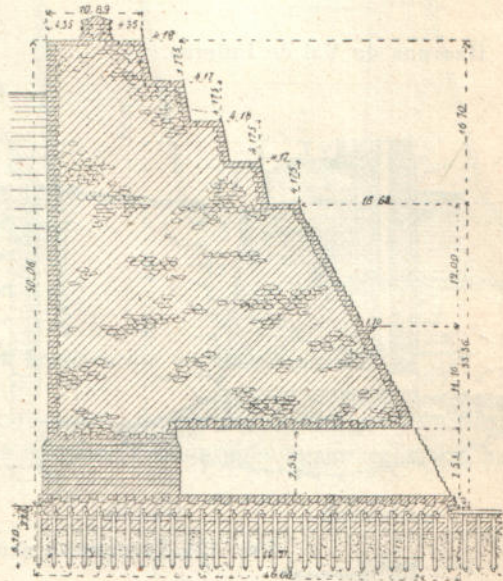


Рис. 123. Старинныя испанскія плотины.

на этой высотѣ уже во время постройки былъ обнаруженъ сильно водопроницаемый слой, черезъ который могло теряться большое количество воды. Это обстоятельство и является причиной слишкомъ большой ширины при основаніи.

Плотина de Nijar (рис. 124) болѣе новой постройки; ея сооруженіе относится къ 1843—1850 г.; она расположена въ устьѣ рѣки Carrizal, вблизи маленькаго города, по имени котораго и названа плотина. Ея полная высота, считая съ низовой стороны, достигаетъ 30,93 метр., но дѣйствительная высота со стороны подпора не болѣе 27,55 метр.

Здѣсь мы намѣренно прерываемъ наше перечисленіе и опускаемъ нѣкоторыя плотины, построенныя въ Испаніи во второй половинѣ XIX-го столѣтія, такъ какъ ихъ конструкція отражаетъ на себѣ вліяніе новыхъ идей.

Правда, мы не можемъ съ точностью выяснитъ тѣ техническія соображенія, которыми руководились конструкторы старыхъ плотинъ, однако эти сооруженія не лишены нѣкоторыхъ общихъ чертъ, опредѣлить которыя очень интересно.



Всѣ они съ верховой стороны ограничены почти вертикальной гранью, съ низовой же стороны ограничивающая грань имѣетъ болѣе или менѣе значительный уклонъ; въ планѣ плотины имѣютъ криволинейную форму съ выпуклостью, обращенною въ сторону воды. Напомнимъ здѣсь еще, что эти сооруженія расположены въ очень узкихъ мѣстахъ русла и основаны на прочномъ скалистомъ грунтѣ. Только въ одной плотинѣ de Puentès не было на лицо послѣдняго условія, что и было причиною разрушенія.

Старыя французскія плотины.—Самое старое изъ большихъ сооружений разсматриваемаго типа, существующихъ во Франціи, было построено между 1777—1780 года для питанія канала du Midi, въ долинѣ du Lampy, съ цѣлью пополненія недостаточности водохранилища Saint — Ferréol (рис. 125). Наибольшая высота плотины равна 16,20 метр., внутренняя грань почти верти-

Плотина du Val de Inferno.

Плотина de Nijjar.

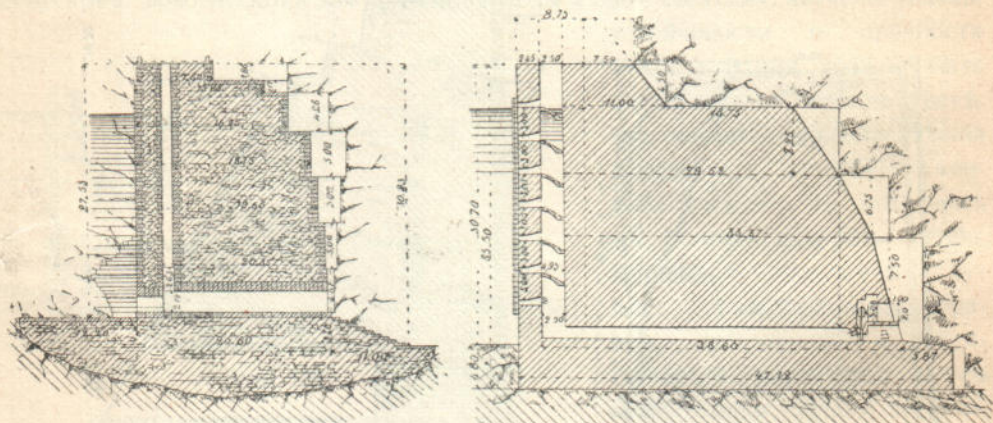


Рис. 124. Старинныя испанскія плотины.

кальна, тогда какъ наружная имѣетъ довольно значительный уклонъ и подпирается кромѣ того десятью контрфорсами. Это сооруженіе, повидимому слегка отступило подѣ влияніемъ давленія воды, при чемъ въ началѣ обнаружились очень обильныя фильтраціи, которыя въ настоящее время почти исчезли.

Водохранилища Grosbois (рис. 125) и Chazilly построены для питанія Бургундскаго канала и оба имѣютъ каменные плотины, имѣющія одинъ и тотъ-же профиль съ весьма небольшимъ различіемъ въ размѣрахъ. Этотъ профиль съ верховой стороны представляетъ значительный наклонъ, образованный послѣдовательными уступами, а съ низовой имѣетъ однообразный наклонъ въ  $1/20$ . Эти стѣны, также какъ и предыдущая, уступили давленію воды, при чемъ обнаружились внушающія опасенія трещины; тогда прибѣгли къ укрѣпленію ихъ посредствомъ сильныхъ контрфорсовъ, подпирающихъ стѣны съ низовой стороны; девять контрфорсовъ было сооружено въ плотинѣ Grosbois и шесть въ плотинѣ Chazilly. Однако, для плотины Grosbois это укрѣпленіе оказалось недостаточнымъ, и чтобы положить конецъ неопредѣленному и опасному положенію, рѣшено было посредствомъ земляной запруды устроить непосредственно за плоти-



ной второе водохранилище, горизонтъ воды въ которомъ располагается на половинѣ глубины первого водохранилища.

Почти въ то-же время между 1833—1842 году для питанія канала отъ Нанты къ Бресту были построены три водохранилища du Vioreau, de Glomel и de Bosméléac. Три плотины, образующія эти водохранилища, имѣютъ общей чертой только ихъ небольшую высоту; во всемъ остальномъ ихъ профили совершенно отличны.

Плотина du Vioreau высотой въ 10,50 метр. состоитъ изъ двухъ камен-

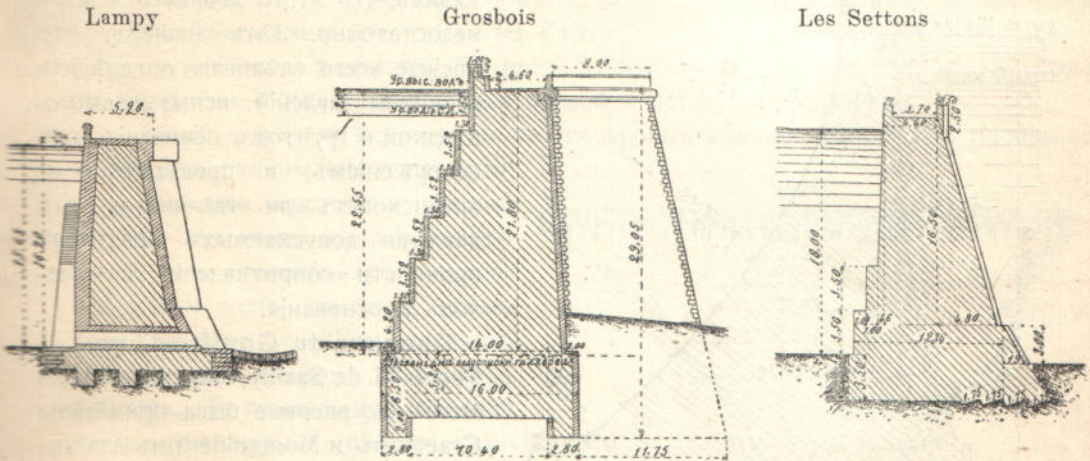


Рис. 125. Старинныя французскія плотины.

ныхъ стѣнъ съ почти вертикальными гранями, между которыми налить бетонъ (рис. 126); такая неоднородность была причиной появленія значительныхъ фильтрацій, которыя даже угрожали цѣлости всего сооруженія; здѣсь, однако, удалось легко прекратить фильтраціи посредствомъ заливки жидкимъ цементомъ.

Плотина de Glomel (рис. 126), имѣющая профиль сходный съ плотиною Grosbois, не испытала никакихъ измѣненій, благодаря, конечно, своей небольшой высотѣ (11,90 метр.). Наконецъ плотина Bosméléac (рис. 126), для которой высота подпорнаго горизонта надъ дномъ водохранилища не превосходитъ 14,26 метр., своимъ профилемъ напоминаетъ плотину du Lampy и сохраняется хорошо.

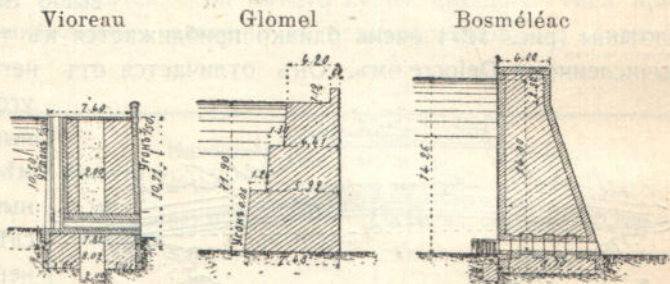


Рис. 126.

Водохранилище des Settens было построено между 1855—1858 год. на рѣкѣ la Cure, притокѣ Юнны, не далеко отъ Montsauche-en-Morvan. Плотина (рис. 125), наибольшая высота которой равна около 20 метр., почти вертикальна съ верховой стороны, тогда какъ съ низовой стороны она имѣетъ значительный уклонъ (0,3 на 1 метръ); она не испытала замѣтныхъ перемѣщеній.



Эти старыя французскія плотины очень разнообразны по формѣ, такъ что нельзя найти общаго правила для характеристики профилей. Строители этихъ сооружений, повидимому, только и заняты были вопросомъ о томъ, чтобы сдѣлать невозможнымъ съ одной стороны опрокидываніе подъ вліяніемъ давленія воды, съ другой стороны горизонтальное перемѣщеніе вслѣдствіе скольженія по плоскости основанія, или по какой либо другой плоскости. Послѣ тщательнаго изученія случаевъ

поврежденія плотинъ de Chazilly и de Grosbois M. de Sazilly первый показалъ, что этого двойнаго условія недостаточно. Онъ нашель, что прежде всего слѣдовало опредѣлить величины давленій, испытываемыхъ кладкой и грунтомъ основанія подъ сооруженіемъ, и провѣрить, не превосходятъ ли гдѣ-нибудь эти давленія допускаемыхъ предѣловъ прочности сопротивленія матеріаловъ и основанія.

Плотина du Gouffre-d'Enfer.— Теорія M. de Sazilly, дополненная Delocre'омъ, впервые была примѣнена Graeff'омъ и Montgolfier'омъ для сооруженія знаменитой плотины du Gouffre-d'Enfer, построенной между 1861—1866 г. на Furens, вблизи селенія Rochetaillée, въ 10 километрахъ выше Saint-Etienne. Профиль этой

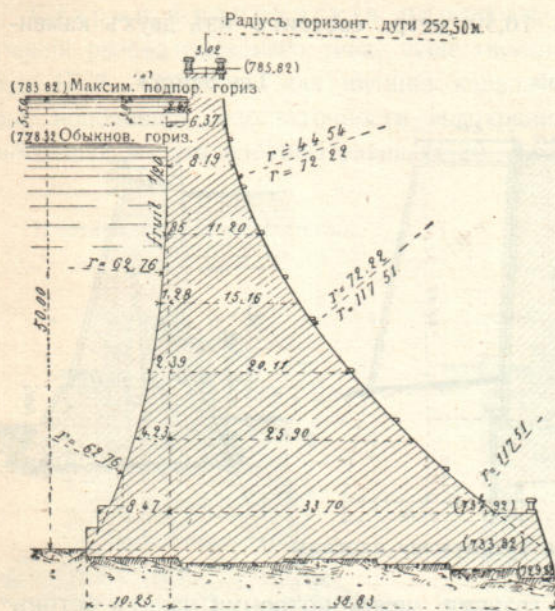


Рис. 127. Плотина du Gouffre-d'Enfer.

плотины (рис. 127) очень близко приближается къ тѣлу равнаго сопротивленія, вычисленному Delocre'омъ. Онъ отличается отъ него лишь тѣмъ, что много-



Рис. 128.

концы его солидно углубляются въ скалистые боковые склоны (рис. 128) долины. Наибольшія давленія, испытываемыя каменной кладкой на различныхъ ея высотахъ, для передней грани (со стороны воды) при полномъ водохранилищѣ и для задней грани при опорожненномъ водохранилищѣ не должны были ни въ какой точкѣ превосходить 6 килограммовъ на квадратный сантиметръ.



На гребнѣ плотины устроена проѣзжая дорога на высотѣ двухъ метровъ надъ самымъ высокимъ горизонтомъ. Эта дорога по обѣимъ сторонамъ ограждена парапетами, которые служатъ вмѣстѣ съ тѣмъ украшеніемъ для сооруженія. Кромѣ того на низовой грани располагаются въ шахматномъ порядкѣ большіе камни, образующіе выступы, которые предназначены для устройства лѣсовъ при выполненіи ремонтныхъ работъ и которые даютъ очень пріятное впечатлѣніе для глазъ, нарушая однообразіе очень большой поверхности стѣны (рис. 129). Плотина du Ban, сооруженная между 1866—1870 г. вблизи Saint-Chamond и плотина Pas-du-Riot, построенная между 1873—1878 г. въ 5 километрахъ отъ Gouffre-d'Enfer, выше его, также на Furens, относятся къ только что описанному типу съ той лишь разницей, что предѣльное давленіе для каменной кладки было увеличено до 8 килограммовъ для первой и до 7,50 для второй.

Какой коренной переворотъ въ постройкѣ каменныхъ плотинъ произвело примѣненіе рациональнаго профиля, принятаго при сооруженіи плотины Furens—это лучше всего выясняется путемъ сравненія со старыми плотинами, какъ это было, напри-  
мѣръ, сдѣлано Graeff'омъ для вышеупомянутыхъ старыхъ испанскихъ плотинъ. На прилагаемой таблицѣ даются для каждой плотины наибольшее допускаемое напряженіе въ кладкѣ и объемъ кладки на погонный метръ. Кромѣ того, здѣсь приводятся количества кладки на погонный метръ, которыя получаются, если вмѣсто существующаго типа примѣнить типъ Furens, при наибольшемъ давленіи въ 6 килограммовъ на квадратный сантиметръ.

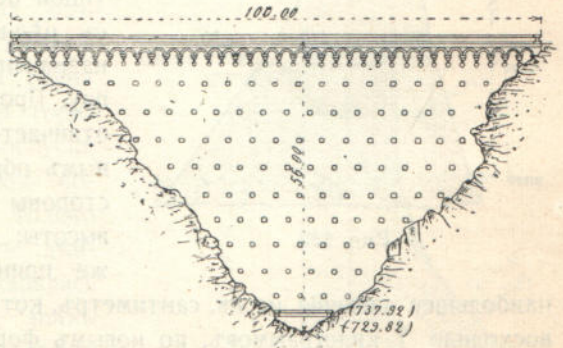


Рис. 129.

НАЗВАНІЯ ПЛОТИНЪ.	Высота плотины.	Наиболь- шее давленіе на сант. <sup>2</sup>	Количество кладки на пог. метр.		Р а з н и ц а.	
			Суще- ствующій типъ.	Типъ Furens.	Абсолют- ная.	Относи- тельная.
Плотина de Puentès . . . .	метр. 50	kg. 7,90	куб. метр. 1.519	куб. метр. 1.029	куб. метр. 490	0,32
» d'Alicante . . . .	41	11,30	1.100	566	534	0,49
» du Val de Inferno . . . .	35,70	6,50	1.084	391	693	0,64
» du Nijar . . . .	27,50	7,50	499	308	191	0,38
» d'Elche . . . .	23,20	12,70	243	187	56	0,23
» d'Almanza . . . .	20,70	14,00	139	141	— 2	— 0,015

Изъ этой таблицы видимъ, напри-  
мѣръ, что въ плотинѣ de Puentès, не-



смотря на увеличеніе количества кладки почти на 50% противъ типа Furens, давленіе въ кладкѣ достигаетъ 7,90 килогр. на кв. сантиметръ. Въ плотинѣ d'Alicante это наибольшее давленіе достигаетъ 11,30 kg., хотя количество кладки

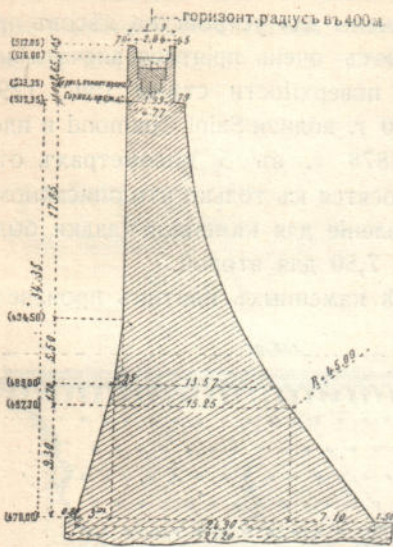


Рис. 130.

почти въ два раза превосходитъ количество ея въ случаѣ рационально опредѣляемаго профиля. Въ плотинѣ d'Almanza объемъ кладки почти равенъ объему, соотвѣтствующему рациональному профилю, но наибольшее давленіе еще болѣе возрастаетъ.

Плотины, сооруженныя во Франціи позднѣе плотины du Gouffre d'Enfer. — Плотина du Ternay (рис. 130) была построена почти одновременно съ плотиной du Gouffre d'Enfer между 1861—1867 г. съ цѣлю образованія водохранилища, предназначеннаго для водоснабженія города Annepay. Профиль, принятый инженеромъ Bouvier, отличается отъ профиля плотины Furens главнымъ образомъ тѣмъ, что грань съ верховой стороны вертикальна на значительной части высоты; профиль былъ опредѣленъ по тѣмъ же принципамъ, что и вышеописанный, но наибольшее давленіе на кв. сантиметръ, которое по формуламъ Delocre'a не превосходило 7 килограммовъ, по новымъ формуламъ, вычисленнымъ Bouvier, достигало 9,30 k.g.; это давленіе было даже доведено до 12 kg. вслѣдствіе повышенія нормальнаго горизонта на 1 метръ. Въ планѣ плотина расположена по дугѣ круга, обращенной своей выпуклостью къ водѣ; радиусъ дуги равенъ 400 метр., считая по оси проѣзжей дороги, расположенной на гребнѣ плотины.

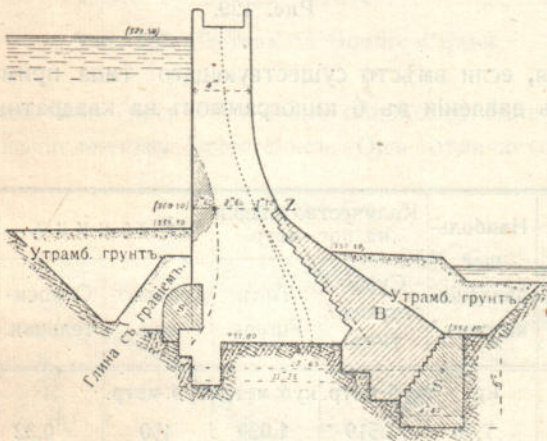


Рис. 131.

Здѣсь слѣдуетъ упомянуть плотину de Bouzey (рис. 131), построенную для образованія водохранилища съ цѣлю водоснабженія канала de l'Est; хотя она начала функционировать только съ 1884 г. и была затѣмъ передѣлана въ 1888—1889 г., проектъ ея однако относится къ 1872 г.

Скажемъ также немного о плотинѣ de Pont сооруженной между 1878—1881 г. на рѣкѣ Armançon съ цѣлю образованія водохранилища для питанія канала de Bourgogne. Профиль ея аналогиченъ съ профилемъ Furens, но отличается отъ него въ нѣкоторыхъ чертахъ. Верховая грань ея представляетъ







на значительной части высоты, но поверхность съ низовой стороны представляетъ менѣ ясно выраженную вогнутость.

Наибольшее допускаемое въ кладкѣ давленіе доведено здѣсь до 11 килограммовъ на квадрат. сант. Но за величину этихъ давленій принята самая высокая цифра изъ получаемыхъ при примѣненіи различныхъ формулъ, предложенныхъ Delocre'омъ, Vouvier и Guillemain'омъ.

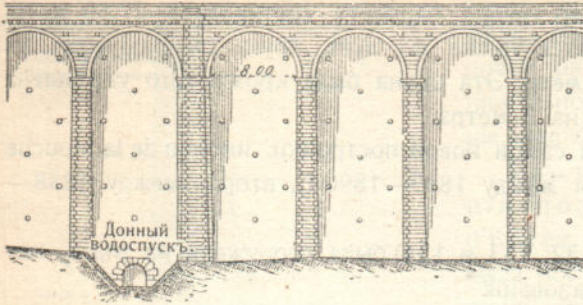


Рис. 133.

Кромѣ того, при расчетѣ было поставлено еще одно условіе— полное отсутствіе работы на растяженіе на верховой поверхности при наполненномъ водой резервуарѣ; на важность этого новаго условія было впервые съ полнымъ основаніемъ указано Guillemain'омъ.

На V-омъ Международномъ Конгрессѣ по судоходству, имѣвшемъ мѣсто въ Парижѣ въ 1892 г., плотина du Chartrain была признана самымъ совершеннымъ типомъ французскихъ плотинъ.

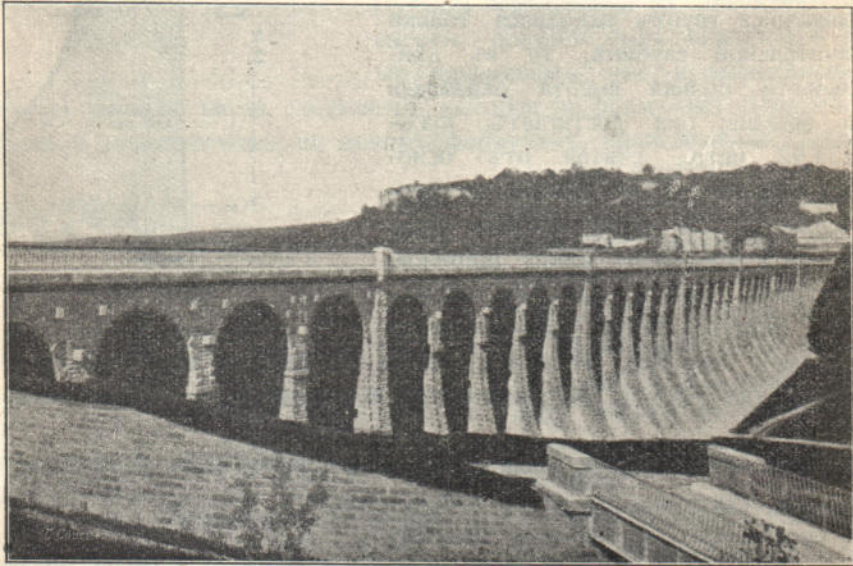


Рис. 134. Водохранилище de la Mouche.

Нельзя не обратить вниманія, что профиль этой плотины въ значительной степени приближается къ треугольнику.

Алжирскія плотины.—Легко понять какія выгоды можетъ представлять примѣненіе искусственнаго орошенія въ такой сторонѣ, какъ Алжиръ.

Извѣстно также, какую пользу извлекли испанцы, при подобныхъ же условіяхъ, сберегая посредствомъ плотинъ паводковыя воды малыхъ источниковъ. Неудивительно поэтому, что въ Алжирѣ были сооружены многочисленныя и



важныя водохранилища со времени завоеванія его французами. Ясно поэтому, что здѣсь системы устройства плотинъ мало отличаются отъ французскихъ типовъ. Ввиду этихъ соображеній мы не будемъ перечислять различныя существующія въ Алжирѣ плотины и ограничимся лишь разсмотрѣніемъ одной изъ нихъ, а именно Nabra.

Это сооруженіе (рис. 141), начатое въ 1856 г. и оконченное въ 1871 г., расположено въ мѣстѣ слиянія рѣкъ Nabra и Oued-Fergoug; длина его по верху равна 455 метр., включая сюда также смежный съ плотиной поверхностный водосливъ длиною въ 125 метр. Нормальная высота подпора равна 27 метрамъ, считая надъ лоткомъ доннаго водоспуска, но здѣсь допущено, что во время паводковъ горизонтъ можетъ быстро повышаться на 1,60 метра. Вместимость образованнаго водохранилища составляетъ 30 милліоновъ кубическ. метр. Въ 1881 г. произошелъ прорывъ плотины, послѣ чего при возобновленіи сооруженія, выполненномъ втеченіе 1883—1887 г., его первоначальный профиль, изображенный на рис. 141-мъ, былъ значительно измѣненъ и сдѣланъ массивнѣе.

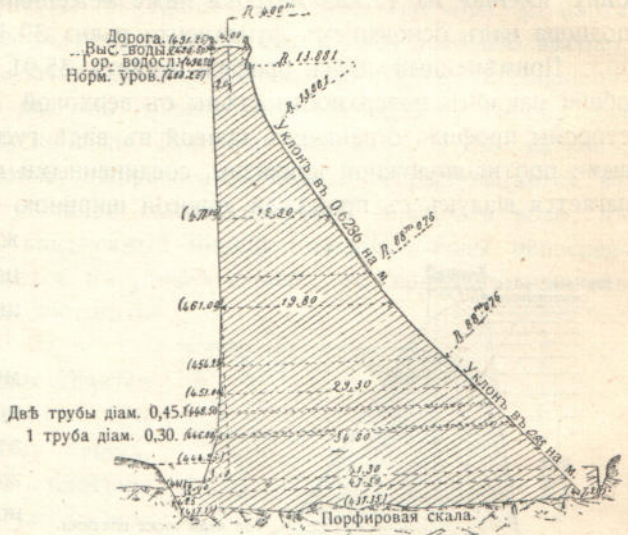


Рис. 135.

Плотины въ другихъ странахъ.—Плотина de la Glippe (рис. 136) въ Бельгіи была построена на рѣкѣ, носящей это названіе, для образованія водохранилища съ цѣлью водоснабженія города Verviers. Высота подпора равна 45 метрамъ, а соотвѣтствующая вместимость водохранилища — 14.000.000 куб. метр. Хотя эта плотина и была построена позднѣе плотины de Furens, du Ternay и de la Rive, однако при сооруженіи ея не пользовались методомъ, при мѣненномъ въ этихъ послѣднихъ сооруженіяхъ.

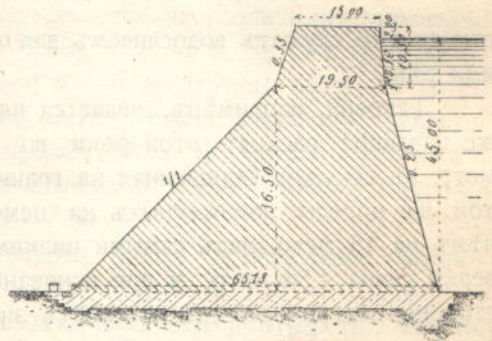


Рис. 136.

Профиль ея былъ сдѣланъ чрезмѣрно массивнымъ, вслѣдствіе чего объемъ кладки почти въ два раза превышаетъ то количество ея, которое было бы необходимо, не вызывая въ кладкѣ большаго напряженія.

Наибольшее давленіе въ дѣйствительности достигаетъ 6 килограммовъ на кв. сантиметръ. Въ планѣ плотина расположена по дугѣ круга съ радіусомъ въ 500 метровъ.



Плотина Wugnwy (рис. 137), въ Англіи, была построена между 1881 — 1888 г. для водоснабженія города Liverpool. Образованное такимъ путемъ водохранилище вмѣщаетъ не менѣе 55 милліоновъ кубич. метр., несмотря на то, что длина плотины едва достигаетъ 355 метр., а возвышеніе подпорнаго горизонта надъ меженнымъ горизонтомъ рѣки не превышаетъ 26,62 метр. Для полученія несжимаемаго основанія пришлось заложить фундаментъ на значительную глубину, именно на 13,725 метровъ ниже меженного горизонта, такъ что высота подпора надъ основаніемъ фундамента равна 39,345 метр.

Примѣненный здѣсь профиль имѣетъ 35,91 метр. ширины при основаніи; общій наклонъ поверхности стѣны съ верховой стороны  $1/7,327$ , съ низовой же стороны профиль ограниченъ кривой въ видѣ гуська, образованнаго двумя кривыми противоположной кривизны, соединенными прямой. Сверху плотины располагается виадукъ съ проѣзжей дорогой шириною въ 6,40 метр.; виадукъ поддержи-

живается сводами, опирающимися на гребень плотины и придающими сооруженію красивый видъ.

Въ этой плотинѣ, повидимому, имѣется избытокъ кладки, но здѣсь не трудно объяснить это желаніемъ сообщить сооруженію исключительную прочность, ввиду того что плотина на всей своей длинѣ служитъ водосливомъ.

Нѣкоторыя весьма значительныя каменные плотины Индіи представляютъ ту-же характерную особенность.

На всей своей длинѣ или части ея онѣ служатъ водосливомъ для пропуска паводковыхъ водъ запружаемыхъ ими рѣкъ.

Таковой, на примѣръ, является плотина Betwa, сооруженная на рѣкѣ того же названія; расходъ этой рѣки во время паводковъ достигаетъ 20.000 куб. метр. въ секунду. Основанная на гранитѣ, она цѣликомъ построена изъ камней той же породы, положенныхъ на цементномъ растворѣ, и возвышается болѣе чѣмъ на 15 метр. надъ самыми низкими точками долины. Ширина плотины по верху равна 4,50 метр. и при основаніи 18,60 метр. (рис. 138). Съ верховой стороны поверхность стѣны имѣетъ значительную кривизну, тогда какъ съ низовой она вертикальна на нѣкоторой части высоты, начиная отъ вершины, и затѣмъ становится наклонной съ уклономъ 0,24 метр. на 1 метръ. Небольшой контрфорсъ изъ каменной кладки, образующій рисберму и сдѣланный вдоль всей длины плотины у подошвы наружной ея грани предохраняетъ поверхность основанія отъ разрушенія, которое могло бы быть произведено огромной массой воды, переливающейся во время паводковъ черезъ гребень плотины. Толщина переливающегося слоя воды достигаетъ 5 метровъ.

Недавно на Нилѣ, у Assouan'a въ передней части перваго порога было соо-

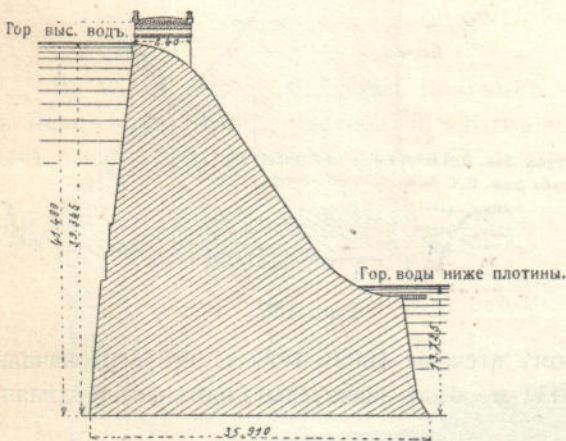


Рис. 137.



ружено огромное водохранилище. Уже одна его огромная вмѣстимость (миллиардъ шестьдесятъ пять миллионъ кубическихъ метровъ) можетъ служить достаточнымъ основаніемъ для упоминанія объ этомъ сооруженіи; но помимо этого оно представляетъ еще и другія замѣчательныя особенности. Въ самомъ дѣлѣ, необходимо, чтобы во время половодья черезъ плотину свободно могли проходить воды вмѣстѣ съ плодородными землистыми частицами, не давая никакихъ отложений драгоцѣннаго ила внутри водохранилища. Отъ сентября до марта вода, успѣвъ уже сдѣлаться чистой, продолжаетъ еще стоять довольно высоко; вотъ этимъ временемъ и пользуются для наполненія водохранилища. Впродолженіе мая, іюня и іюля, когда расходъ Нила становится недостаточнымъ для нуждъ орошенія, дѣлаются попуски воды. Плотина длиною въ 1.950 метровъ, перегораживаетъ рѣку по прямому направленію. Верхъ ея располагается въ уровнѣ (109,90), т. е. на 3 метра выше самого высокаго горизонта воды, въ водохранилищѣ (106,00). Такъ какъ самый низкій горизонтъ воды непосредственно за плотиной располагается въ уровнѣ (86,00), то при наполненномъ водохранилищѣ паденіе можетъ достигать 29 метровъ.

Вышеуказанная длина плотины дѣлится на двѣ неравныя части: одну, длиною 550 метр., примыкающую къ правому берегу, на протяженіи которой тѣло плотины образуетъ сплошную массу, другую, длиною въ 1400 метровъ, примыкающую къ лѣвому берегу, на протяженіи которой въ плотинѣ сдѣланы отверстія числомъ 180, имѣющія одинаковую ширину въ 2 метра, и составляющія, слѣдовательно, въ совокупности свободное пространство въ 360 метр.

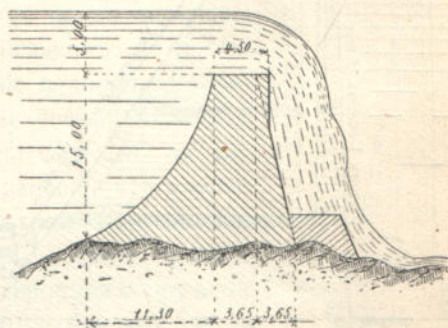


Рис. 138.

Пороги этихъ отверстій группами располагаются на различныхъ уровняхъ, именно на высотахъ (100,00), (96), (92) и (87,50), т. е. на 6, 10, 14 и 18,50 метр. ниже подпорнаго горизонта. Отверстія одной и той же группы отстоятъ другъ отъ друга на разстояніи 7 метровъ, считая между осями, а крайнія отверстія двухъ сосѣднихъ группъ располагаются на разстояніи 12 метровъ другъ отъ друга. Тѣ отверстія, пороги которыхъ расположены въ уровнѣ (100,00) и (96,00) имѣютъ высоту въ 3,50 метр., а остальные—7 метр.

Изъ 180 отверстій 130 снабжены затворомъ Stoney, а остальные обыкновеннымъ затворомъ.

Управляя соотвѣтственнымъ образомъ затворами этихъ отверстій, можно, смотря по обстоятельствамъ, или свободно пропустить несущую иль воду рѣки, или же сберечь избытокъ чистой воды, съ тѣмъ чтобы потомъ опять выпустить ее въ рѣку. Скорость воды въ отверстіяхъ можетъ достигать значительной величины, ввиду чего стѣнки ихъ выложены тесаннымъ камнемъ. 30 изъ нихъ, тѣ именно, которыя расположены ниже всего, обдѣланы даже чугунными плитами.

Профиль плотины при переходѣ отъ одного сѣченія къ другому отличается только шириною по верху, которая равна 5,42 метр. тамъ, гдѣ плотина пред-



ставляетъ сплошную массу, и 7 метр. въ той части ея, гдѣ сдѣланы отверстія. Поверхность стѣны съ низовой стороны имѣетъ однообразный уклонъ 2-хъ оснований къ 3-мъ высотамъ; поверхность же съ верховой стороны представляетъ правильный наклонъ въ  $\frac{1}{18}$ . Въ каждомъ промежуткѣ между двумя группами отверстій помѣщенъ контрфорсъ, выступающій на 1,15 метр. за заднюю грань.

Все сооруженіе основано на скалѣ и сооружено изъ гранита, сложенного на портландскомъ цементномъ растворѣ. Наружныя грани плотины облицованы тесанымъ по наугольнику камнемъ, а масса ея образована изъ бута. Растворъ вообще имѣлъ составъ 4 части песку на 1 часть цемента; для частей сооруженія, требующихъ особенной прочности, какъ то для фундамента, для верховой поверхности, для расшивки швовъ и проч. примѣняли болѣе жирный растворъ, именно 2 части песку на 1 часть цемента. Наибольшее давленіе въ кладкѣ не

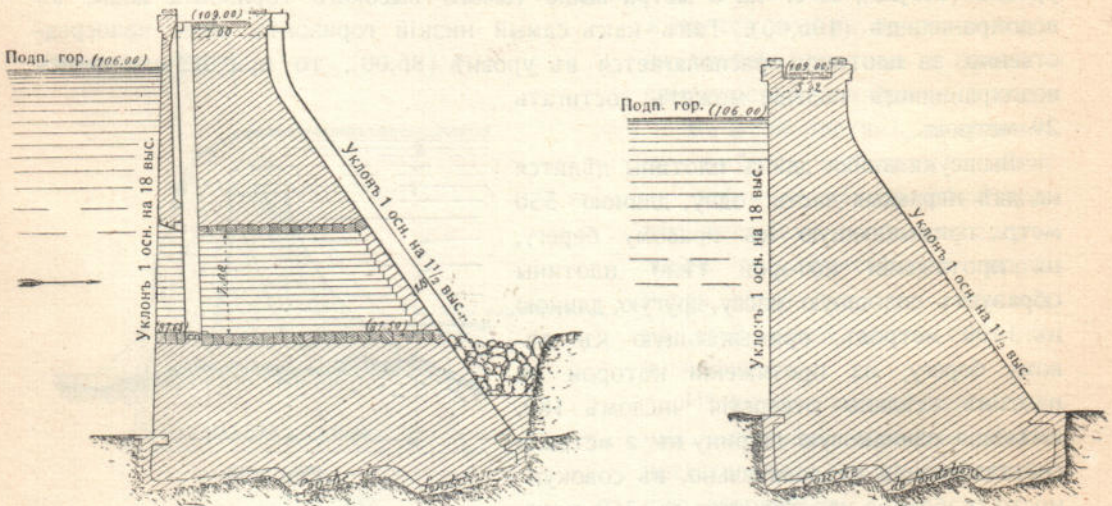


Рис. 139. Ассуанская плотина на Нилѣ.—Поперечныя сѣченія.

должно превышать 4,35 кг. на квадр. сантиметръ для задней грани (при полномъ водохранилищѣ) и 6,32 кл. для верховой грани (при опорожненномъ водохранилищѣ) (рис. 139).

Закладка этого гигантскаго сооруженія была сдѣлана 12 февраля 1899 г., а уже въ концѣ юня 1902 г., т. е. менѣе, чѣмъ черезъ  $3\frac{1}{2}$  года, каменная кладка была вполнѣ закончена. Полная стоимость сооруженія составляетъ сумму въ 2.450.000 фунт. стерл. или около 61.250.000 фр., что даетъ для одного кубич. метра цифру въ 0.06 фр.

Въ заключеніе рассмотримъ еще плотину на рѣкѣ Grande (рис. 140), сооруженную на Панамскомъ перешейкѣ, ввиду постройки междуокеанскаго канала; эта плотина привлекаетъ къ себѣ вниманіе совершенно особенной конструкціей. Благодаря небольшой ширинѣ и солидности склоновъ долины здѣсь возникла мысль опредѣлить профиль плотины, рассматривая ее, какъ цилиндрическій сводъ съ вертикальной осью, который передаетъ давленіе воды на боковыя опоры. Радиусъ полуциркульнаго свода, считая его для оси плотины, равенъ 15 метрамъ, а полная длина плотины по верху—32,17 метр. Бетонный фунда-



ментъ, солидно углубленный въ скалу, имѣеть только 4 метра ширины, сама же стѣна представляетъ въ поперечномъ сѣченіи трапецію шириною въ 3,60 метр. по низу и въ 1,10 метр. по верху. Если-бы плотина была построена обыкновеннымъ способомъ, т. е., не принимая во вниманіе боковыхъ опоръ, то ея толщина оказалась бы почти въ три раза больше дѣйствительной; несмотря на такую сравнительную легкость, сооруженіе вполнѣ сохранилась со времени его постройки (съ 1888 г.).

Прорывъ каменныхъ плотинъ.—Только что сдѣланный обзоръ нѣкоторыхъ плотинъ будетъ далеко неполнымъ, если мы не рассмотримъ нѣсколькихъ случаевъ разрушенія. Ничто не можетъ быть такъ полезно какъ изученіе этихъ случаевъ, въ особенности же изслѣдованіе вызывающихъ ихъ причинъ.

Выше мы уже упоминали о прорывѣ плотины de Puente въ Испаніи, сооруженной для образованія подпора высотой въ 50 метр.; средняя часть была основана на сваяхъ, а двѣ крайнія части имѣли своимъ основаніемъ солидный скалистый грунтъ.

Въ теченіе одиннадцати лѣтъ, слѣдовавшихъ послѣ окончанія постройки, недостаточность атмосферныхъ осадковъ не позволяла наполнить водохранилище, и возвышеніе подпорнаго горизонта надъ дномъ не превышало 25—30 метровъ. Въ апрѣлѣ 1802 г. сильные ливни вызвали быстрый подъемъ воды, за которымъ послѣдовалъ прорывъ плотины еще раньше, чѣмъ водохранилище было наполнено водой до проектной высоты. Вся средняя часть плотины, основанная на сваяхъ, была унесена водой вмѣстѣ съ грунтомъ основанія; послѣ прорыва сооруженіе имѣеть видъ моста, устоями котораго являются боковыя части плотины, основанныя на скалѣ, а отверстіе его равно 16 метрамъ при высотѣ 33 метровъ. Болѣе 600 человѣкъ погибло во время этой катастрофы, 89 домовъ разрушено, а убытки составили цифру въ 5.500.000 фр. Причина прорыва здѣсь вполнѣ очевидна; это недостаточная солидность основанія.

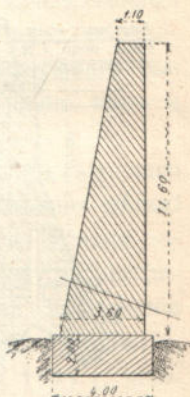


Рис. 140.

Аналогичной причиной объясняется разрушеніе двухъ каменныхъ плотинъ, сооруженныхъ на рѣкѣ Sig, въ Алжирѣ, одной у Saint-Denis-du-Sig и другой на 22 километр. выше, у Cheurfas; оба случая прорыва произошли 8 февраля 1885 г. Верхнее водохранилище вмѣстимостью въ 18 милліоновъ кубическихъ метр. было едва наполнено въ первый разъ, какъ вода унесла, не самую плотину, но часть одного изъ склоновъ долины, въ которомъ былъ заложенъ правый корень плотины. Грунтъ этого склона долины представлялъ собой водопроницаемый мергель, который не могъ выдержать давленія воды. Огромная масса воды, внезапно прорвавшаяся черезъ плотину, скоро достигла водохранилища Saint-Denis-du-Sig съ гораздо меньшей вмѣстимостью и быстро его наполнила. Вода поднялась, по словамъ однихъ, на 5,40 метр., по словамъ другихъ, на 6,50 метр. надъ гребнемъ этой второй плотины, которая такимъ образомъ превратилась въ гигантскій водосливъ и по прошествіи не болѣе часа была разрушена. Конечно разрушеніе этой второй плотины было только слѣдствіемъ прорыва выше лежащаго сооруженія; здѣсь повидимому не было никакихъ недостатковъ въ







Разъ появилась на нѣкоторой глубинѣ трещина, то обнаружившееся давленіе воды снизу вверхъ должно было разгрузить вышележащую часть стѣны, расположенную надъ трещиной, и увеличить давленіе на низовой грани стѣны. Слѣдствіемъ этого явилось возрастаніе растягивающихъ усилій въ А, вызвавшее углубленіе трещины, которое въ свою очередь явилось причиной новаго увеличенія давленія на низовой грани, и такъ далѣе до тѣхъ поръ, пока это давленіе оказалось достаточнымъ для раздавливанія матеріала въ наиболѣе напряженныхъ точкахъ и опрокидыванія верхней части плотины.

Итакъ, разрушеніе явилось результатомъ того, что на верховой поверхности стѣны существовали элементы, работавшіе на растяженіе. Мы уже говорили выше, что въ настоящее время подобнаго рода усилія признаются безусловно недопустимыми.

Прорывъ плотины Bouzey, происшедшій сравнительно недавно, также сопровождался тяжелыми послѣдствіями; здѣсь погибло около ста человѣкъ. Съ самаго начала своей службы средняя часть плотины испытала существенныя измѣненія; на протяженіи 120 метр. длины она перемѣстилась назадъ, образовавъ почти правильную кривую съ стрѣлой въ 0,30 метр.; эта деформация вызвала многочисленныя трещины въ центрѣ и на концахъ кривой; равно какъ и въ грунтѣ основанія.

Это явленіе было объяснено дурными качествами грунта, вслѣдствіе чего въ продолженіи 1888—1889 г. были выполнены большія работы, имѣвшія цѣлью углубленіе и расширеніе фундамента плотины. На рисункѣ 131 новая кладка показана вправо наклоненными штрихами, тогда какъ остальная, незаштрихованная площадь, представляетъ первоначальную кладку. Послѣ выполненія этихъ работъ водохранилище могло-быть наполнено до нормального горизонта, при чемъ не обнаружилось никакихъ перемѣщеній. Но 27 апрѣля 1895 г. плотина прорвалась приблизительно въ уровнѣ верхней части произведенныхъ въ 1888—1889 г. работъ и была снесена на протяженіи 170 метровъ ея длины.

Такимъ образомъ, катастрофа выразилась здѣсь почти въ такой же формѣ, какъ и въ плотинѣ Nabra. Что касается причины, то никто не искалъ ее въ растягивающихъ усиліяхъ, которыя могли бы проявиться на верховой поверхности, когда водохранилище было наполнено водой. Maurice Lévy, авторитетъ котораго въ этой области не подлежитъ сомнѣнію, утверждаетъ что прорывъ произошелъ вслѣдствіе скольженія.

Требованія устойчивости, предъявляемыя въ настоящее время къ стѣнамъ водохранилищъ. Въ своей диссертации, представленной въ Академію Наукъ, Maurice Lévy показалъ, что при проектированіи каменныхъ плотинъ, помимо прежнихъ условій, необходимо соблюдать еще одно новое требованіе. Недостаточно, чтобы на верховой поверхности каменная кладка не испытывала растягивающихъ напряженій, вслѣдствіе которыхъ раскрываются швы и проявляются трещины. Необходимо еще воспрепятствовать прониканію воды въ швы и трещины, даже если они возникаютъ подъ вліяніемъ температурныхъ или другихъ причинъ. Необходимымъ и достаточнымъ теоретическимъ условіемъ для этого будетъ соблюденіе того, чтобы упругое сжатіе на верховомъ концѣ шва было больше давленія воды водохранилища въ этой точкѣ.



Благодаря этому вода, вмѣсто того чтобы проникнуть въ кладку, будемъ стремиться выйти изъ нея. Въ результатѣ, для полнаго обезпеченія устойчивости стѣны водохранилища въ настоящее время считаютъ необходимымъ выполнение слѣдующихъ условий: 1° Верховая или внутренняя поверхность стѣны должна работать только на сжатіе, при чемъ величина напряженія должна заключаться между величиной немного большей гидростатическаго давленія въ данной точкѣ, при наполненномъ водохранилищѣ, и величиной немного меньшей предѣла безопаснаго сопротивленія  $C'$ , при опорожненномъ водохранилищѣ. 2° Сжатіе для низовой или наружной поверхности не должно превосходить принятаго предѣла  $C$ , обыкновенно гораздо меньшаго  $C'$ , при наполненномъ водохранилищѣ <sup>1)</sup>).

Изъ предыдущаго изложенія мы видимъ, что случаи разрушенія дали основаніе для введенія послѣдовательныхъ усовершенствованій въ постройку каменныхъ плотинъ водохранилищъ.

Только вслѣдствіе опасныхъ перемѣщеній, которыя обнаружились въ плотинахъ Chazilly и Grosbois, стали капитально разсматривать вопросъ о величинахъ допускаемыхъ сжатій въ кладкѣ и грунтѣ основанія.

Послѣ прорыва плотины Nabrga было поставлено условіе ни въ какомъ случаѣ не допускать нигдѣ въ кладкѣ работы на растяженіе.

Со времени катастрофы Bouzey считаютъ безусловно необходимымъ, чтобы сжатіе на верховой грани въ каждой точкѣ ея превосходило гидростатическое давленіе, соотвѣтствующее наполненному водой водохранилищу.

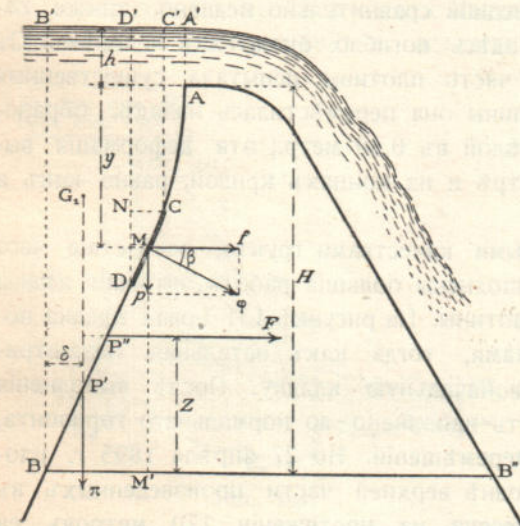


Рис. 142.

Въ виду нѣкоторой особенности условій, въ которыхъ находятся каменные плотины водохранилищъ, мы считаемъ полезнымъ привести ниже примѣняемый въ настоящее время приѣмъ расчета ихъ устойчивости и прочности, предпославъ ранѣе нѣкоторыя поясненія.

Опредѣленіе давленія воды на плотину.—Положимъ, что мы имѣемъ нѣкоторую стѣнку, на которую давитъ вода, стоящая на одномъ уровнѣ съ ея верхомъ. Давленіе  $F$ , выраженное въ тоннахъ на погонный метръ стѣны, равно  $0,5 y^2$ , если черезъ  $y$  мы обозначимъ высоту воды въ метрахъ. Точка приложенія этого давленія отстоитъ отъ основанія на разстояніи, равномъ одной трети высоты.

Если вода стоитъ выше верха стѣнки и переливается черезъ нее нѣкоторымъ слоемъ, нельзя вывести точнаго выраженія давленія на нее воды, для приближеннаго же подсчета опредѣляютъ его слѣдующимъ образомъ.

Положимъ, что вода стоитъ выше стѣнки на  $h$  метръ. (рис. 142). Давленіе воды на квадратную единицу поверхности стѣнки равно вѣсу столба воды, имѣю-

<sup>1)</sup> По Résal'ю  $C'$  можетъ превосходить  $C$  на 50% и даже на 100%.



этого основаніемъ эту поверхность, а высоту равной разстоянію центра тяжести этой поверхности отъ поверхности воды. Давленіе это дѣйствуетъ нормально къ разсматриваемой поверхности. Если такимъ безконечно-малымъ элементомъ на чертежѣ служить  $DC$ , то давленіе на него  $\varphi$  будетъ

$$\varphi = (y + h) ds.$$

Силу  $\varphi$  мы можемъ разложить на двѣ составляющія: вертикальную  $p$  и горизонтальную  $f$ , причемъ, какъ видно изъ чертежа,

$$f = \varphi \cos \beta = (y + h) dy$$

$$p = \varphi \sin \beta = (y + h) dx.$$

Горизонтальное давленіе воды  $F$  на погонный метръ стѣнки  $BAB''$  высотой  $H$  равно, очевидно,

$$F = \int_0^H (y + h) dy = \frac{H^2}{2} + Hh \dots \dots \dots (1)$$

Чтобы найти точку приложенія  $F''$  этой силы напомнимъ, что моментъ равнодѣйствующей относительно точки  $B$  равенъ суммѣ моментовъ составляющихъ относительно той же точки

$$FZ = \int_0^H (y + h) (H - y) dy = \frac{H^3}{6} + \frac{H^2 h}{2}.$$

Подставляя вмѣсто  $F$  ея значеніе изъ вышеприведеннаго равенства (1), получимъ

$$Z = \frac{H}{3} \cdot \frac{H + 3h}{H + 2h} \dots \dots \dots (2)$$

При  $h = 0$ , когда вода стоитъ на одномъ уровнѣ съ верхомъ стѣны, получимъ вышеприведенныя величины

$$F = \frac{H^2}{2}, \quad z = \frac{H}{3} \dots \dots \dots (3)$$

Вертикальная составляющая  $p$  отъ нормального къ стѣнкѣ давленія  $\varphi$  представляетъ собой ничто иное, какъ вѣсъ столба воды  $DD'C'C$ . Точно также давленіе  $\pi$ , равное суммѣ вѣсовъ  $p$  по высотѣ плотины, очевидно, представляетъ собою вѣсъ объема воды  $B'BA A'$ . Точка приложенія силы  $\pi$ , очевидно, находится на пересѣченіи вертикали, проходящей черезъ центръ тяжести  $G_1$  объема  $B'BA A_1'$  съ линіею  $AB$ , т. е. въ точкѣ  $P'$ .

Законъ трапеціи.—При опредѣленіи устойчивости сооружений дѣлаютъ обыкновенно два допущенія: первое, что давленіе, вызываемое внѣшними силами, пропорціонально произведенной деформации, второе, что плоское основаніе сооружения остается таковымъ же и послѣ деформации.

Пусть  $ABCD$  представляетъ вертикальную, а  $C_1D_1D_2C_2$  — горизонтальную проекцію нѣкотораго призматическаго тѣла и пусть черезъ центръ прямоугольника  $C_1D_1D_2C_2$  проходятъ координатныя оси  $OX$  и  $OY$ . Подъ вліяніемъ вертикальной силы  $N$ , приложенной въ точкѣ  $E$ , основаніе  $CD$  стремится занять поло-



жение  $CD'$  (рис. 143), причем если точка  $E$  находится на оси  $OX$  на расстоянии  $x_1$  от оси  $OY$ , то во всякой точкѣ прямоугольника  $C_1D_1D_2C_2$  расположенной на параллели оси  $OY$  и имѣющей абсциссою  $x$  напряжение опредѣляется уравненіемъ

$$n = \frac{N}{\Omega} \left( 1 + \frac{12xx_1}{e^2} \right), \dots \dots \dots (4)$$

гдѣ  $e$  представляетъ длину основанія, т. е.  $C_1D_1$  при  $C_2D_2$  (рис. ).

Линія нулевого давленія получается изъ равенства

$$1 + \frac{12xx_1}{e^2} = 0,$$

откуда

$$x = -\frac{e^2}{12x_1}.$$

Минимумъ давленія имѣетъ мѣсто при минимумѣ  $x$ , т. е. при  $x = -\frac{e}{2}$ ,

что соотвѣтствуетъ ребру  $C_1C_2$ , причемъ давленіе въ этомъ случаѣ будетъ

$$\begin{aligned} n' &= \frac{N}{\Omega} \left( 1 - \frac{6x_1}{e} \right) = \\ &= \frac{N}{\Omega} \left( \frac{6d - 2e}{e} \right), \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

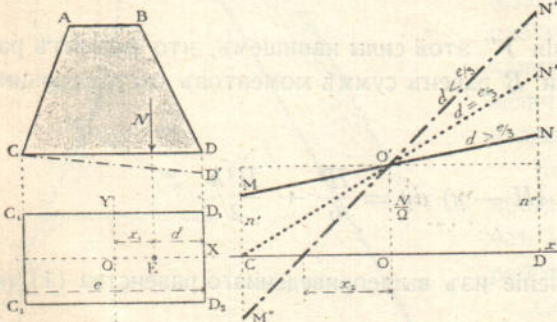


Рис. 143.

гдѣ  $d$  представляетъ разстояніе точки  $E$  отъ ребра  $D_1D_2$ .

Максимумъ давленія имѣетъ мѣсто при максимумѣ  $x$ , т. е. при  $x = \frac{e}{2}$ , что соотвѣтствуетъ ребру  $D_1D_2$  причемъ давленіе въ этомъ случаѣ будетъ

$$n'' = \frac{N}{\Omega} \left( 1 + \frac{6x_1}{e^2} \right) = \frac{N}{\Omega} \left( \frac{4e - 6d}{e} \right) \dots \dots \dots (6)$$

Полусумма  $\frac{n' + n''}{2}$  максимальнаго и минимальнаго давленій равна какъ разъ среднему давленію  $\frac{N}{\Omega}$ .

Для всякаго значенія  $x_1 < \frac{e}{6}$ , т. е.  $d < \frac{e}{3}$  линія нулевыхъ давленій находится внѣ прямоугольника  $C_1D_1D_2C_2$ , и минимальное значеніе  $n'$  всегда положительно.

Для  $x_1 = \frac{e}{6}$  и  $d = \frac{e}{3}$  линія нулевыхъ давленій находится на  $C_1C_2$ , такъ что  $n' = 0$  и  $n'' = 2 \frac{N}{\Omega}$ .

Для  $x > \frac{e}{6}$  и  $d < \frac{e}{3}$  линія нулевыхъ давленій находится внутри прямоугольника и опредѣляется уравненіемъ

$$x = -\frac{e^2}{12x_1}.$$



Для всякой величины  $x_1$  заключающейся между  $+\frac{e}{2}$  и  $-\frac{e^2}{12x_1}$  давление — положительно, для значений же между  $-\frac{e^2}{12x_1}$  и  $-\frac{e}{2}$  — отрицательно, т. е. имѣется растяженіе вмѣсто сжатія.

Для  $x_1 = 0$ ,  $d = \frac{e}{2}$  получаемъ  $n' = n'' = \frac{N}{Q}$ , т. е. давление одинаково по всей площади прямоугольника  $C_1D_1D_2C_2$ .

Уравненіе (4) соотвѣтствуетъ прямой, изображающей законъ измѣненія давления, причемъ ордината въ началѣ координатъ  $OO'$  представляетъ среднее давление, а угловой коэффициентъ имѣетъ величину  $\frac{12Nx_1}{e^2Q}$ .

На рисункѣ 143-мъ показаны различныя положенія этой прямой въ зависимости отъ величины  $x_1$ .

Если перенести координатныя оси такъ, чтобы онѣ проходили черезъ  $c_1$ , то уравненіе прямой получаетъ видъ:

$$n = n' + \left( \frac{n'' - n'}{e} \right) x = P + Qx \dots \dots \dots (7)$$

Такъ какъ давление варьируетъ вообще подобно ординатамъ трапецій  $CMND$  и  $CM''N''D$ , то этому закону измѣненій дали названіе закона трапеции.

Для элемента плотины, равнаго одному метру по длинѣ,  $Q$  равна  $e \times 1 = e$ , такъ что  $n'$  и  $n''$  примутъ слѣдующій видъ:

$$n' = \frac{N}{e} \left( \frac{6d - 2e}{e} \right) = \frac{N}{e} \left( 6 \frac{d}{e} - 2 \right) \dots \dots \dots (8)$$

$$n'' = \frac{N}{e} \left( \frac{4e - 6d}{e} \right) = \frac{N}{e} \left( 4 - 6 \frac{d}{e} \right) \dots \dots \dots (9)$$

Мы видѣли, что если  $d < \frac{e}{3}$ , то давление на части основанія получаетъ отрицательное значеніе, т. е. получается растяженіе. Само собой разумѣется, что если бы подъ вліяніемъ растяженія произошелъ разрывъ кладки, то тогда давление отъ массива  $ABCD$  распространилось бы по основанію не на всей длинѣ его  $e$ , а лишь на протяженіи равномъ  $3d$ , причемъ maximum  $n''$  получился бы равнымъ

$$n'' = \frac{2N}{3d}.$$

Условія устойчивости.—Займемся теперь выясненіемъ условий, которыми должна удовлетворять стѣнка, чтобы она могла сопротивляться напору воды, дѣйствующему на одну изъ ея сторонъ (рис. 144).

Пусть  $M'MNN'$  представляетъ поперечное сѣченіе этой стѣнки, а  $AB$ —горизонтальное ея сѣченіе, находящееся на глубинѣ  $y$  отъ поверхности воды. Часть  $AMNB$  стѣны должна быть въ равновѣсіи подъ вліяніемъ силъ, на нее дѣйствующихъ. Эти силы — слѣдующія: съ одной стороны горизонтальная сила  $F$  — давление воды, вѣсъ  $N$  части  $AMNB$  стѣны и вѣсъ  $\pi$  воды, дѣйствующій на наклонную грань съ верховой стороны, съ другой стороны реакціи какъ вер-



тикальные, такъ и горизонтальные, проявляющіяся въ сѣченіи  $AB$  отъ нижней части стѣны на верхнюю.

Пусть  $G_1$  — точка приложенія силы  $\pi$ ,  $\delta$  — разстояніе отъ точки  $A$  до направленія силы  $\pi$ ,  $G_2$  — точка приложенія силы  $N$ ,  $d$  — разстояніе отъ точки  $A$  до направленія силы  $N$ .

Пусть  $G_3$  будетъ точка приложенія равнодѣйствующей  $N_1$  силъ  $\pi$  и  $N$ ; разстояніе  $d'$  отъ точки  $A$  до ея направленія равно

$$d' = \frac{\pi\delta + Nd}{\pi + N}.$$

Вертикальная сила  $N_1$  и горизонтальная  $F$  при сложении даютъ равнодѣйствующую  $R$ , которая пересѣкаетъ основаніе  $AB$  въ точкѣ  $D$  и составляетъ съ силою  $N_1$  уголъ  $\alpha$ , причемъ  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{N_1}$ .

Если обозначить черезъ  $e$  разстояніе  $CD$  и черезъ  $b$  разстояніе  $DB$ , то получимъ

$$e = OC \operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{3} \cdot \frac{F}{N_1}.$$

$$b = e - (d' + c).$$

Для того, чтобы стѣна  $AMNB$  не могла вращаться подъ вліяніемъ силы  $F$  около ребра  $B$ , нужно, чтобы вращающій моментъ, т. е.  $F$  относительно  $B$ , былъ меньше момента устойчивости, т. е. силы  $N_1$  относительно того же ребра  $B$ , или

$$N_1 (b + e) - F \cdot \frac{y}{3} > 0,$$

откуда получимъ условіе

$$b > 0,$$

т. е. точка пересѣченія равнодѣйствующей  $R$  основанія  $AB$  никогда не должна выходить за предѣлы основанія  $AB$ .

Въ точкѣ  $D$  основанія  $AB$  равнодѣйствующая  $R$  можетъ быть разложена на свои первоначальныя составляющія  $F$  и  $N_1$ .

Горизонтальная сила  $F$  должна поглощаться внутреннимъ сцѣпленіемъ частицъ кладки и треніемъ, которое можетъ проявиться на основаніи  $AB$  подъ вліяніемъ давленія верхней части стѣны на нижнюю. Въ пользу прочности не принимаютъ въ расчетъ сцѣпленія частицъ и предполагаютъ, что давленію воды должно сопротивляться одно треніе.

Такимъ образомъ, обозначивъ черезъ  $f$  коэффициентъ тренія, получимъ

$$(N + \pi) f \geq F \text{ или } \operatorname{tg} \alpha \leq f \dots \dots \dots (10)$$

Если это условіе выполнимо, часть стѣны  $AMNB$  не можетъ скользить по горизонтальному основанію  $AB$ .

Вертикальная сила  $N_1$  должна уравновѣшиваться сопротивленіемъ кладки, при-

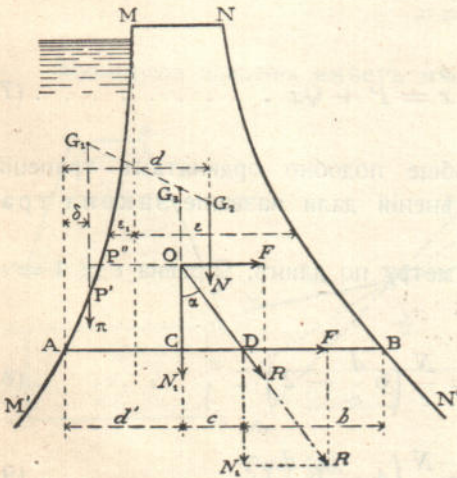


Рис. 144.







$\alpha$ —уголъ, который она составляет съ вертикалью,  $NM = e$ , ширину сѣченія и  $OM = b$  — разстояніе отъ точки пересѣченія равнодѣйствующей съ сѣченіемъ до точки  $M$ .

Проведемъ нормально къ продолженію направленія  $GO$  линію  $MN'$ , на которой точка  $O'$  обозначаетъ мѣсто пересѣченія ея равнодѣйствующей  $R$ , а  $N''$ —основаніе перпендикуляра, опущеннаго изъ точки  $N$  на линію  $MN'$ . Обозначимъ длины  $O'M$  черезъ  $b'$ ,  $N''M$  черезъ  $e'$ ; по построенію уголъ  $OMO'$  равенъ  $\alpha$ .

Очевидно, что величина давленія въ точкѣ  $M$  будетъ больше въ сѣченіи  $NM$ , чѣмъ во всякомъ другомъ сѣченіи подобномъ  $KM$ , такъ какъ въ этомъ послѣднемъ случаѣ не только увеличился бы наклонъ сѣченія относительно равнодѣйствующей, но и самая величина послѣдней уменьшилась бы, такъ какъ пришлось бы исключить дѣйствіе вѣса кладки треугольника  $NMK$  и давленія воды на площадь  $NK$ . Но нельзя того же сказать относительно сѣченій, подобныхъ  $MN'$ . Здѣсь, очевидно, бесполезно вводить въ расчетъ добавочныя силы—вѣсъ кладки треугольника  $MN'N$  и давленіе воды на  $NN'$ , дѣйствіе которыхъ на точку  $M$ —ничтожно, но ничто не мѣшаетъ разсматривать треугольникъ  $MN'N$



Рис. 146.

какъ тѣло, служащее для передачи давленія  $GO'$ , и тогда  $MN'$ , какъ перпендикулярная къ его направленію, даетъ наибольшее значеніе для давленія въ  $M$ , такъ какъ равнодѣйствующая въ этомъ случаѣ вводится въ расчетъ цѣликомъ, и разстояніе  $O'M$  получаетъ наименьшее значеніе.

Сила  $R$  можетъ быть разложена на двѣ составляющихъ, параллельныхъ ей и приложенныхъ въ точкахъ  $M$  и  $N$ . При передачѣ ихъ черезъ треугольникъ  $MN'N$  на сѣченіе  $N'M$  мы получимъ точки приложенія въ  $M$  и  $N''$ . Такимъ образомъ въ расчетъ слѣдуетъ вводить какъ дѣйствительную длину сѣченія лишь  $N''M$ .

Примѣняя формулу (9), получимъ

$$n_1'' = \frac{R}{e'} \left( \frac{4e' - 6b'}{e'} \right) = \frac{R}{e} \left( \frac{4e - 6b}{e} \right) \times \frac{1}{\cos \alpha}.$$

Такова формула, данная М. Bouvier для опредѣленія наибольшаго возможнаго давленія на низовой грани плотины.

Если обозначить черезъ  $N_1$  вертикальную составляющую  $R$ , причемъ  $N_1 = R \cos \alpha$ , то  $n_1''$  получить слѣдующее выраженіе

$$n_1'' = \frac{N_1}{e} \left( \frac{4e - 6b}{e} \right) \times \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{n''}{\cos^2 \alpha},$$

откуда

$$n_1'' = n'' (1 + \lg^2 \alpha) \quad \dots \dots \dots (11)$$

Въ этомъ послѣднемъ видѣ формула имѣетъ наибольшее распространеніе.

Слѣдуетъ замѣтить, что обдѣлка скалистаго основанія на подобіе зубьевъ пилы служить лучшей гарантіей противъ скольженія (рис. 146) плотины по по основанію. Если допустить, что зубья спроектированы такъ, что стороны  $ac$ —параллельны  $R$ , а стороны  $ab$ —нормальны къ ней, то все давленіе будетъ пе-



передаваться на стороны  $ab$ , и, поэтому можно будет принять, что  $R$ —передается на основание  $\frac{AB}{\cos \alpha'}$ , а не просто  $AB$ .

Методъ М. Maurice Lévy.—Членъ Французской Академіи Наукъ М. Maurice Lévy въ своемъ докладѣ 5-го августа 1895 г. впервые высказалъ мысль, что при расчетѣ прочности плотинъ недостаточно, чтобы нигдѣ не было растягивающаго усилія каменной кладки, но необходимо, чтобы сжимающее усиліе въ любой точкѣ верховой грани плотины было болѣе гидростатическаго давленія въ той же точкѣ, чтобы вода никоимъ образомъ не могла входить въ швы кладки и, въ слѣдствіи замерзая, способствовать ея разрушенію.

Что касается до возможнаго максимальнаго давленія на низовой грани плотины, то онъ предложилъ слѣдующую теорему: Наибольшее сжатіе въ точкѣ, лежащей на низовой грани плотины, равно сжатію, которое получается для этой же точки въ горизонтальномъ сѣченіи, проходящемъ черезъ нее, дѣленному на квадратъ  $\cosinus$ 'а угла, который составляетъ низовая грань съ вертикалью въ этой точкѣ.

Свою теорему онъ доказываетъ слѣдующимъ образомъ: пусть точка  $a$  (рис. 147) лежитъ на низовой грани нѣкоторой плотины;  $ad$ —нѣкоторый элементъ на поверхности,  $ac$ —внутри плотины,  $i$ —уголъ  $cab$  и  $cb$ —параллельно  $ad$ ,  $ab$ —нормально къ кривой въ точкѣ  $a$ . Треугольная призма, имѣющая вертикальную проекцію  $acb$ , находится въ равновѣсіи подѣ дѣйствіемъ слѣдующихъ силъ: 1° давленій на три свои стороны, 2° собственнаго вѣса. Давленія на грани  $ac$  и  $ab$  суть безконечно малыя величины перваго порядка, что же касается вѣса, то онъ представляетъ безконечно-малую величину втораго порядка, и потому имъ можно пренебречь. То же можно сказать и о давленіи на грань  $cb$ , параллельную  $ad$ . Такимъ образомъ можно принять, что треугольникъ долженъ быть въ равновѣсіи при дѣйствіи двухъ только силъ—давленій на грань  $ac$  и  $ab$ . Обѣ эти силы равны между собой и обратно направлены, причемъ, очевидно, параллельны касательной къ кривой въ точкѣ  $a$ .

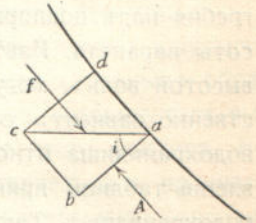


Рис. 147.

Отсюда мы можемъ сдѣлать выводъ, что полное давленіе на любой элементъ, выходящій изъ точки, лежащей на низовой грани, параллельно касательной въ этой точкѣ къ кривой откоса, отсюда же, какъ слѣдствіе, что давленіе, испытываемое элементомъ, нормальнымъ къ низовому откосу, нормально къ нему направлено.

Если обозначить черезъ  $A$  давленіе на единицу площади грани  $ab$  и черезъ  $f$ —грани  $ac$ ,  $f_n$ —нормальное давленіе и  $f_t$ —скалывающее усиліе, то получимъ:

откуда

$$A \times (ab) = f \times (ac),$$

$$f = A \times \frac{ab}{ac} = A \cos i$$

$$f_n = f \cos i = A \cos^2 i$$

$$f_t = f \sin i = \frac{A}{2} \sin 2i.$$



Максимумъ  $f_n$  имѣетъ мѣсто при  $i = 0^\circ$ . Максимумъ  $f_i$  при  $i = 45^\circ$ . Если направление  $ca$ —горизонтально, то очевидно, что  $i = \beta$ ; такимъ образомъ давленіе на низовой грани для этого случая будетъ

$$n_2'' = A = \frac{f_n}{\cos^2 \beta} = n'' (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \dots \dots \dots (12)$$

Ширина по верху.—Возвышеніе гребня надъ подпорнымъ горизонтомъ.—При опредѣленіи поперечнаго профиля каменной плотинымы уже говорили, что ширина по верху является одной изъ данныхъ задачи. Эта ширина должна быть достаточна для проѣзда экипажа. Было бы жалко лишиться подобной выгоды, но это можетъ быть достигнуто только при ширинѣ около 4 метр., включая парапеты; правда, часть этой ширины можетъ быть помѣщена на консоляхъ; ее можно даже значительно увеличить, располагая проѣзжую дорогу на аркахъ, или частью, какъ, напримѣръ, въ плотинѣ de la Mouche, или цѣликомъ, какъ напримѣръ въ плотинѣ Virnwy.

Въ прилагаемой таблицѣ помѣщены для нѣкоторыхъ плотинъ, построенныхъ въ Франціи, слѣдующія данныя: 1° ширина по верху, т. е. дѣйствительная ширина каменной кладки, исключая, слѣдовательно, всякій свѣсъ; 2° возвышеніе гребня надъ подпорнымъ горизонтомъ, не принимая, конечно, въ расчетъ высоты парапета. Извѣстно, что это возвышеніе должно быть въ соотвѣтствіи съ высотой волнъ, могущихъ возникать въ водохранилищѣ, а эта послѣдняя существенно зависитъ отъ мѣстныхъ условій, преимущественно отъ расположенія водохранилища относительно направленія господствующихъ вѣтровъ. При составленіи таблицы принятъ въ расчетъ самый высокій горизонтъ допускаемый въ водохранилищѣ. Такъ, напримѣръ, для водохранилища du Gouffre—d'Enfer обычный горизонтъ лежитъ на 7,50 ниже гребня плотины; но, такъ какъ здѣсь допущено, что уровень воды можетъ подниматься на 5,50 метр., то въ таблицѣ дается величина 2 метр.

Изъ этихъ данныхъ мы можемъ сдѣлать выводъ, что наименьшая ширина при вершинѣ равна 3 метр., относительно-же возвышенія гребня надъ наивысшимъ горизонтомъ слѣдуетъ сказать, что его едва-ли безопасно дѣлать менѣе 2 метр.

НАЗВАНІЯ ПЛОТИНЪ.	Ширина по верху.	Высота надъ подпор- нымъ гори- зонтомъ.	Примѣчанія.
	МЕТР.	МЕТР.	
Плотина du Gouffre-d'Enfer .	3,00	2,00 <sup>1)</sup>	<sup>1)</sup> Относительно обычнаго горизонта эта высота равна 7,50 метр.
» de la Rive или du Ban.	4,90	1,90	
» du Ternay . . . .	3,99	2,65 <sup>2)</sup>	<sup>2)</sup> Первоначально равнялась 3,65 метр.
» de Bouzey . . . . .	4,00	0,60	
» de Pont . . . . .	5,00	2,35	<sup>3)</sup> Нормальная высота — 3 метра.
» de la Mouche . . . .	3,50	2,55	
» du Chartrain . . . .	4,00	0,75 <sup>3)</sup>	



Удѣльный вѣсъ каменной кладки.—Однимъ изъ главныхъ элементовъ, входящихъ въ опредѣленіе профиля плотины водохранилища, является удѣльный вѣсъ каменной кладки. Втеченіе долгаго времени, для удобства вычисленій, довольствовались приближеніемъ, принимая этотъ вѣсъ одинаковымъ для различныхъ сортовъ кладки, именно для него брали величину въ 2.000 килограммовъ. Однако въ дѣйствительности этотъ вѣсъ бываетъ различенъ въ разныхъ случаяхъ. Такъ, изъ данныхъ прямого опыта Bouvier нашель для плотины Ternaу, что удѣльный вѣсъ кладки изъ гранитнаго бута равнялся 2.360 килограммъ. Для бута изъ известняка малой плотности этотъ вѣсъ уменьшается до 2.150.

Такъ какъ плотина сопротивляется давленію воды своимъ вѣсомъ, то, ясно, что чѣмъ матеріалъ плотнѣе, тѣмъ тоньше можетъ быть она сдѣлана, но съ другой стороны тѣмъ больше будетъ нагружено основаніе сооруженія. Правда, обыкновенно, наиболѣе тяжелые матеріалы лучше другихъ сопротивляются дѣйствующимъ силамъ. Во всякомъ случаѣ вопросъ о выборѣ матеріала не имѣетъ большого значенія, такъ какъ экономическія соображенія почти всегда вынуждаютъ пользоваться имѣющимися подъ рукой матеріалами.

Въ каждомъ частномъ случаѣ слѣдуетъ прямымъ путемъ опредѣлять удѣльный вѣсъ кладки, состоящей изъ бута, песку, извести или цемента, взятыхъ въ той пропорціи, какая имѣется въ виду при сооруженіи плотины.

Сопротивленіе кладки.—Предѣльное давленіе, которое можно допустить въ кладкѣ, измѣняется съ природой матеріала; это — очевидно; равнымъ образомъ, было бы рационально измѣнять его въ зависимости отъ совершенства выполненной кладки, если бы возможно было оцѣнить вліяніе этого фактора. Во всѣхъ случаяхъ допускаемый предѣлъ гораздо ниже дѣйствительнаго прочнаго сопротивленія, и отсюда и получается безопасность этого предѣльнаго сопротивленія. Такъ, въ плотинѣ du Gouffre—d'Enfer и въ другихъ, постройка которыхъ непосредственно слѣдовала за первой, есть полное основаніе полагать, что дѣйствительныя напряженія значительно превзошли первоначально допущенныя при проектированіи. Въ плотинѣ du Ternaу давленіе, вычисленное по формуламъ Delocre'a, не должно было превышать 7 килограммовъ на кв. сантиметръ. Bouvier показалъ, что вслѣдствіе поднятія горизонта на 1 метръ, а также поправокъ, введенныхъ въ формулы, оно, въ дѣйствительности достигло 12 килограммовъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ сооруженія вполнѣ хорошо сохранились.

Эта цифра въ 12 килограммовъ предлагается нѣкоторыми инженерами какъ maximum, и ихъ мнѣніе было санкціонировано V-мъ Международнымъ Конгрессомъ по судоходству въ Парижѣ въ 1892 г., который принялъ слѣдующую резолюцію: «Примѣняя хорошіе матеріалы, можно безопасно допускать предѣльное давленіе въ кладкѣ въ 12 килограммовъ на кв. сантиметръ».

Здѣсь безъ сомнѣнія имѣется въ виду кладка, выполненная съ величайшей тщательностью изъ матеріаловъ (бутъ и песокъ) лучшаго качества, на гидравлическомъ растворѣ высокаго качества. Кромѣ того тутъ предполагается, что кладка получаетъ свою переменную нагрузку съ постепенностью, причемъ эта нагрузка достигаетъ maximum'a, когда нижніе слои кладки успѣютъ уже пролежать два, три года. Bouvier высказалъ мнѣніе, что подобнаго рода кладка послѣ окончательнаго отвердѣнія, т. е. по прошествіи десятка лѣтъ можетъ безопасно выдержать напряженіе въ 14 килограммовъ на кв. сантиметръ.



Какъ бы ни было цѣнно мнѣніе такихъ авторитетныхъ строителей, едва ли можно признать рациональнымъ для кладки плотинъ водохранилищъ стремленіе увеличить предѣлы безопаснаго сопротивленія на томъ основаніи, что они очень удалены отъ дѣйствительныхъ прочныхъ сопротивленій; кромѣ того, необходимо въ каждомъ частномъ случаѣ по возможности точно опредѣлять эти сопротивленія.

Мы уже указывали на то, что предѣлъ безопаснаго сопротивленія для верховой грани (опорожненное водохранилище) могъ быть установленъ значительно выше, чѣмъ для низовой грани (полное водохранилище); это легко понять, принимая во вниманіе, что при опорожненномъ водохранилищѣ нѣтъ основаній бояться какихъ нибудь осложнений и, тѣмъ болѣе, опасныхъ случаевъ.

Разрушеніе кладки отъ соприкасанія съ водой. — Здѣсь мы затрагиваемъ очень трудный вопросъ, внушающій серьезныя опасенія относительно будущности каменныхъ плотинъ водохранилищъ.

Каменная кладка не обладаетъ безусловной водонепроницаемостью; едва-ли можно оспаривать ея пористость. Даже при отсутствіи всякаго видимаго разъединенія частей сооруженія, эта скважность подтверждается обильнымъ просачиваніемъ воды, обнаруживающимся на низовой грани стѣны, гдѣ дѣйствіе филтрацій проявляется въ весьма угрожающей формѣ отложеніемъ известковыхъ осадковъ.

Эти осадки служатъ доказательствомъ уменьшенія известковаго связывающаго вещества въ кладкѣ, и по мѣрѣ этого уменьшенія падаетъ удѣльный вѣсъ, а въ особенности, сопротивленіе матеріала. При слабыхъ качествахъ его есть полное основаніе бояться быстрого разрушенія, которое къ тому же можетъ быть сильно ускорено образованіемъ трещинъ. Эти послѣднія тѣмъ болѣе опасны, что могутъ вызвать новыя напряженія въ кладкѣ. Но даже тогда, когда эти трещины не мѣняють условій, принятыхъ при расчетѣ сооруженія (случай вертикальныхъ трещинъ), онѣ опасны, ускоряя разрушеніе кладки. Ввиду этого слѣдуетъ принимать тщательныя мѣры предосторожности при самомъ сооруженіи плотины, съ цѣлью воспрепятствовать разъединенію частей сооруженія.

Мѣры предосторожности при сооруженіи плотинъ. — Въ настоящее время общепринятымъ требованіемъ является однородность сооруженія, такъ какъ всякая неравномѣрность осадки или неравенство сопротивленія можетъ привести къ разъединенію и трещинамъ. Это основное условіе привело къ почти исключительному примѣненію обыкновенной бутовой кладки, выполняемой изъ одинаковаго камня, извести и песку.

Эта однородность необходима одинаково для всѣхъ частей сооруженія какъ для верхнихъ такъ и для самыхъ нижнихъ. Прежде всего вполнѣ понятно, что фундаментъ долженъ быть весь заложенъ на плотномъ, несжимаемомъ и водонепроницаемомъ материкѣ; существованіе промежутковъ изъ слабаго грунта можетъ привести къ катастрофѣ, какъ это имѣло, напримѣръ, мѣсто для плотины de Puentès; но помимо этого, необходимо, чтобы основаніе было подготовлено такъ, чтобы внутри кладки не могло существовать массъ, дающихъ иную нежели она осадку и представляющихъ отличное отъ нея сопротивленіе. Съ этой точки зрѣнія расположеніе, показанное на рис. 148, является совершенно недопустимымъ, хотя оно и представляется очень выгоднымъ въ экономическомъ отно-



шеніи. Если ниже сѣченія MON кладка дастъ осадку вслѣдствіе сжатія отъ нагрузки, причемъ сжатіе естественной скалы окажется менѣе значительнымъ, то очевидно въ точкѣ О произойдетъ раздробленіе матеріала. Если же значительная часть нагрузки сосредоточится въ точкѣ О, то можетъ произойти еще другое явленіе, именно трещина по нѣкоторой линіи ОК, имѣющей направленіе въ зависимости отъ дѣйствующихъ силъ, внутреннихъ силъ сцѣпленія и проч.

Не оспаривая рачіональности требованія однородности кладки плотинъ водохранилищъ, нельзя не отмѣтить однако того факта, что въ старыхъ испанскихъ плотинахъ это условіе невыполнено; поверхности этихъ стѣнъ облицованы тесаннымъ камнемъ, и несмотря на это многія изъ нихъ существуютъ болѣе трехсотъ лѣтъ.

Можно было бы пытаться объяснить ихъ долговѣчность чрезмѣрной массивностью этихъ стѣнъ; но, во первыхъ, самая старая изъ нихъ, именно плотины d'Almanza и d'Elhe, совсѣмъ не отличаются массивностью; во вторыхъ, нѣкоторыя изъ нихъ, представляя большую толщину, несмотря на это испытываютъ сильныя напряженія.

Поэтому, есть основаніе полагать, что облицовка изъ тесаной кладки, выполненная съ большою тщательностью при небольшомъ числѣ очень тонкихъ швовъ, которые съ теченіемъ времени, будутъ вполнѣ закрыты, находящимися въ водѣ во взвѣшенномъ состояніи твердыми частицами, можетъ представлять весьма дѣйствительное препятствіе для прониканія воды въ тѣло плотины; слѣдовательно, такая облицовка будетъ защищать плотину отъ разрушенія, такъ какъ вода, попадающая въ кладку, является главной причиной разрушенія.

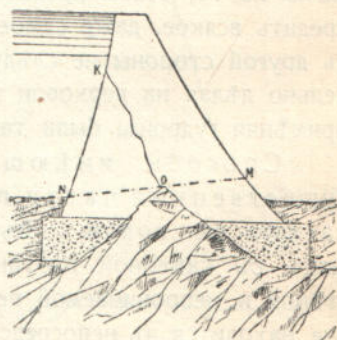


Рис. 148.

Такъ, на примѣръ, было замѣчено при ломкѣ нѣкоторыхъ старыхъ морскихъ сооруженій, что облицовка изъ тесаннаго камня предохранила растворъ кладки отъ разложенія, препятствуя соприкасанію съ морской водой.

Съ точки зрѣнія лучшаго сохраненія кладки, криволинейная форма въ планѣ была предложена какъ единственно возможный способъ избѣгнуть вертикальныхъ трещинъ, которыя всегда проявляются въ прямолинейныхъ плотинахъ вслѣдствіе измѣненій температуры. Однако, далеко не всегда такая форма является рачіональной.

Въ своей брошюрѣ «Observations sur la catastrophe de Bouzey» Maurice Lévy даетъ интересныя статистическія данныя относительно 50 каменныхъ плотинъ, изъ которыхъ 21 имѣютъ криволинейную и 29 прямолинейную форму.

Изъ первыхъ только 3 имѣютъ длину большую 200; наибольшая длина не превосходитъ 235 метровъ, а средняя равна 127 метр.

Изъ вторыхъ 12 имѣютъ длину большую 200 метровъ; наибольшая длина доходитъ до 2684 метр., а средняя до 348 метр.

Вообще можно сказать, что криволинейная форма принята для плотинъ небольшой длины, а прямолинейная для плотинъ болѣе значительнаго протяженія. Слѣдуетъ признать, что теоретическія соображенія согласуются здѣсь со статистикой. Въ самомъ дѣлѣ, склоны долины только тогда могутъ служить



дѣйствительными опорами для плотины, имѣющей форму свода, когда эти склоны достаточно близко расположены другъ къ другу.

Той же статистикой установлено кромѣ того, что среди французскихъ плотинъ, имѣющихъ криволинейную форму, двѣ, именно, du Ternay и de Pont имѣютъ вертикальныя трещины; поэтому, криволинейная форма, даже для сооружений небольшой длины, не представляетъ безусловныхъ гарантій.

Важной и существенной мѣрой предосторожности является постепенность при нагрузкѣ каменной стѣны. Не только важно, чтобы наибольшая нагрузка которую должна выдерживать кладка, была сообщена ей тогда, когда она достигнетъ своей почти полной прочности, но очень существенно также и то, чтобы эта нагрузка достигла своего maximum'a съ возможно большей медленностью, благодаря чему ея дѣйствіе ощущается съ большей постепенностью.

Если всѣ усилія строителя при сооруженіи плотины должны быть направлены на то, чтобы предотвратить появленіе фильтрацій и съ этой цѣлью предупредить всякое, даже самое незначительное, разъединеніе частей сооружения, то съ другой стороны не слѣдуетъ упускать изъ виду этого и при ремонтѣ, тщательно дѣлая на верховой поверхности расшивку швовъ и штукатурку, а также примѣняя гудронъ; были также попытки примѣнить желѣзобетонъ.

Способы, имѣющіе своею цѣлью предохранить наиболѣе существенныя части плотины отъ разрушенія вслѣдствіе соприкасания съ водой. — Въ различныхъ разсмотрѣнныхъ нами водохранилищахъ съ каменной плотиной, послѣдняя является одновременно и подпорной стѣной и непроницаемой перегородкой. Для удовлетворенія послѣднему условію она находится въ непосредственномъ и постоянномъ соприкосновеніи съ водой и, слѣдовательно, подвергается всѣмъ измѣненіямъ, которыя могутъ явиться результатомъ такого соприкосновенія и уменьшить ея сопротивленіе. Такимъ образомъ, совмѣщеніе въ одномъ и томъ-же тѣлѣ плотины обоихъ свойствъ, и свойства прочности и свойства непроницаемости, приводятъ къ ослабленію одного при измѣненіи другого; въ этомъ и заключается очень существенный недостатокъ разсмотрѣнныхъ сооружений.

Мы разсмотримъ теперь нѣкоторыя конструкціи, предложенныя Maurice'омъ Lévy, для устраненія этихъ недостатковъ.

Первая, предложенная имъ, конструкція заключалась въ слѣдующемъ:

Верховая поверхность стѣны, вмѣсто того чтобы быть гладкой, представляетъ рядъ выступовъ квадратнаго сѣченія въ планѣ, размѣрами  $2 \times 2$  метра; выступы раздѣлены между собою промежутками также въ 2 метра.

Непрерывная стѣна, служащая предохранительной стѣнкой плотины, примыкаетъ спереди непосредственно къ выступамъ, благодаря чему между выступами съ одной стороны и между предохранительной стѣнкой и главной массой плотины съ другой образуется рядъ колодцевъ, имѣющихъ сѣченіе около  $2 \times 2$  метра и идущихъ на протяженіи всей высоты плотины.

Внутренніе углы колодцевъ закруглены, вслѣдствіе чего возрастаетъ связь между предохранительной стѣной и массой плотины.

Предположимъ, что образовалась какая-нибудь трещина; вода, проникающая въ кладку, вмѣсто того чтобы производить на нее давленіе, направится въ эти



колодцы; такимъ образомъ трещины, каковы бы онѣ ни были, становятся неопасными.

Конечно вода, попадающая въ колодцы, должна быть собрана посредствомъ продольнаго дренажа и затѣмъ съ помощью канала выпущена изъ водохранилища.

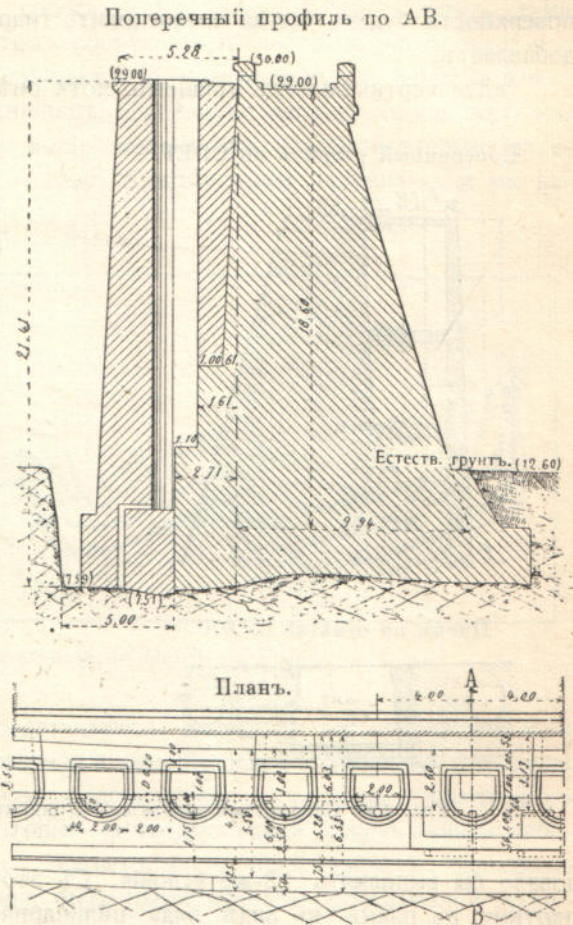
По объему воды, даваемой дренажемъ, можно всегда знать, что дѣлается въ плотинѣ. Какъ только этотъ объемъ сдѣлается ощутительнымъ, слѣдуетъ осмотрѣть колодцы и задѣлать трещины.

Такимъ образомъ, предохранительная стѣна находится въ непосредственномъ соприкосновеніи съ водой и имѣетъ своимъ назначеніемъ обезпечить водонепроницаемость сооруженія, независимо отъ самого тѣла плотины, обезпечивающаго ея прочность; фильтраціи могутъ быть остановлены, прежде чѣмъ онѣ успѣютъ достигнуть главной массы сооруженія, благодаря дренажу, позволяющему опредѣлить количество просачивающейся воды, и по этому признаку можно судить о величинѣ трещинъ, могущихъ обнаружиться въ предохранительной стѣнкѣ, что даетъ возможность во время ихъ задѣлать.

Система, предложенная Maugis'e-омъ Lévy, была безъ всякихъ отступленій примѣнена при перестройкѣ плотины водохранилища des Settons, черезъ которую обильно просачивалась вода. На рисункѣ 149-омъ представленъ 1) видъ въ планѣ нѣкотораго числа колодцевъ и поперечное сѣченіе по оси одного изъ нихъ. Здѣсь видно, какъ трубы, сообщающія другъ съ другомъ послѣдовательные колодцы, позволяютъ въ концѣ концовъ отвести собранную воду въ водопроводъ для опорожненія водохранилища; здѣсь видно также, какъ вода, просачивающаяся черезъ трещины скалистаго основанія, отводится въ колодцы.

На рисункѣ 150-омъ показано, какимъ образомъ на длинѣ 8 метровъ, въ видѣ опыта, была сдѣлана замѣна каменной стѣны желѣзо-бетонной конструкціей.

<sup>1)</sup> На поперечномъ сѣченіи по АВ старая кладка показана штриховкой, наклоненной вправо, а новая кладка штриховкой наклоненной, влѣво.





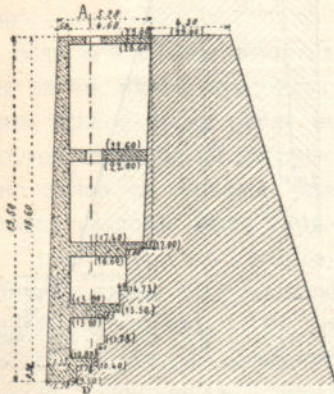
Предохранительная стѣна плотины des Settons начала служить съ января 1904 г. и пока подвергалась только небольшимъ давлѣніямъ воды. Слѣдовательно, пока еще нѣтъ данныхъ для сужденія о достигнутыхъ здѣсь результатахъ.

Вторая система также была предложена Maurice'омъ Lévy.

Признавъ необходимость удаленія воды изъ кладки не только вслѣдствіе ея давленій снизу, но также и по причинѣ ея замерзанія, и показавъ, что для горизонтальныхъ швовъ это условіе будетъ выполнено, если давленіе на верховой поверхности будетъ всегда превосходить гидростатическое давленіе, Maurice Lévy добавляетъ:

«Для вертикальныхъ трещинъ, хотя онѣ сами по себѣ менѣе опасны, слѣ-

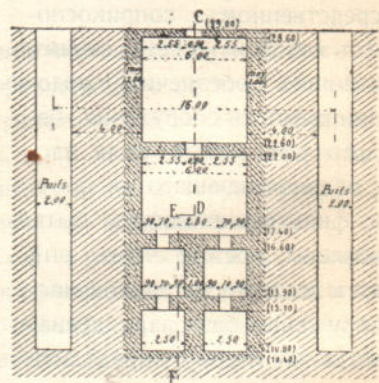
Поперечный разрѣзъ по CDEF.



Планъ на отмѣткѣ (22.60).



Продольный разрѣзъ по AB.



Планъ на отмѣткѣ (13.90).



Рис. 15(). Сеттовская плотина.—Предохран. желѣзобетонная стѣнка.

довало бы выполнять тѣ-же условія. Съ этой цѣлью можно было бы строить плотину въ планѣ въ видѣ ряда цилиндрическихъ сводовъ съ вертикальными образующими и со стрѣлою отъ 15 до 30 метровъ; каждый сводъ по концамъ слѣдовало бы укрѣплять контрфорсами.

Давленіе воды на своды будетъ сжимать вертикальные швы. Это сжатіе, исключая температурныя измѣненія, само по себѣ выполнитъ условіе, чтобы давленіе въ кладкѣ превышало давленіе воды.

Расположеніе въ видѣ ряда сводовъ съ промежуточными контрфорсами имѣетъ помимо этого еще слѣдующую двойную выгоду:

1° Сооруженіе можетъ свободно расширяться подъ вліяніемъ температуры.

2° Есть полное основаніе полагать, что, въ случаѣ образованія трещины, послѣдняя можетъ быть ограничена тѣмъ мѣстомъ, гдѣ она обнаружилась.

Мы не будемъ разсматривать другихъ комбинацій, такъ какъ въ общемъ онѣ сходны съ конструкціями, предложенными Maurice'омъ Lévy, и сводятся



главнымъ образомъ къ отдѣленію отъ соприкосновенія съ водой тѣхъ частей плотины, которая сообщаютъ ей необходимую устойчивость и прочность.

Дополнительныя сооруженія. — Что касается сооружений, относящихся къ впуску воды въ водохранилище, именно бассейновъ для отложенія наносовъ и оградительныхъ канавъ, то мы здѣсь ничего не можемъ добавить къ тому, что уже было сказано для водохранилищъ съ земляной плотиной.

Относительно же сооружений, имѣющихъ своей цѣлью выпускъ воды изъ водохранилища, т. е. водосливовъ и водоспусковъ, здѣсь слѣдуетъ опять таки указать на необходимость давать этимъ сооружениямъ достаточную пропускную способность, дабы предотвратить возможность чрезмѣрнаго и ненормальнаго подъема горизонта воды въ водохранилищѣ. Земляную плотину, выше которой поднялась вода, слѣдуетъ, какъ было выше сказано, считать окончательно потерянной. Не совсѣмъ такъ обстоитъ дѣло съ каменными плотинами, и мы ви-

Общій планъ.

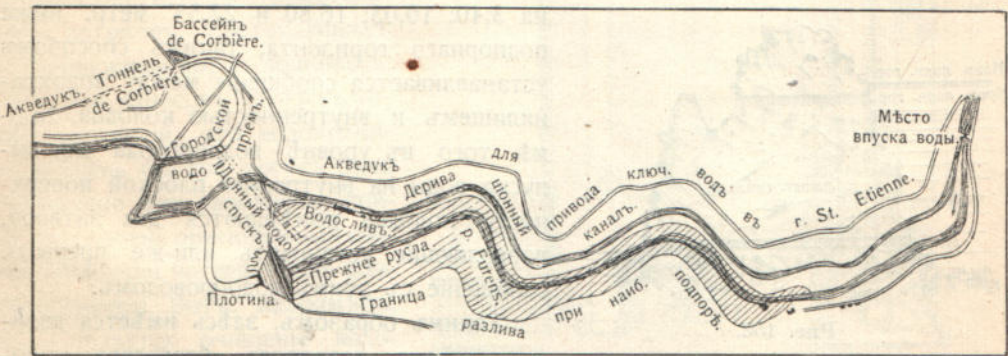


Рис. 151. Водохранилище du Gouffre-d'Enfer.

дѣли, что нѣкоторыя изъ нихъ представляютъ водосливы на протяженіи всей или части ихъ длины; однако, чрезмѣрное и ненормальное возвышеніе горизонта воды можетъ имѣть своимъ слѣдствіемъ значительное возрастаніе сжимающихъ усилий въ кладкѣ; кромѣ того, нѣкоторыя части послѣдней могутъ начать работать на растяженіе; поэтому такой подъемъ воды представляетъ серьезную опасность, которая безусловно должна быть предотвращена достаточной пропускной способностью сооружений для выпуска воды.

То, что было сказано относительно устройства и расположенія этихъ сооружений для земляныхъ плотинъ, почти безъ измѣненія примѣняется къ каменнымъ плотинамъ. Вполнѣ рационально, если позволяютъ условія, располагать водосливъ, водоспускъ и донный водоспускъ совершенно внѣ плотины.

Водоохранилище du Gouffre—d'Enfer можетъ служить въ этомъ отношеніи примѣромъ. На рисункѣ 151-омъ представлено общее расположеніе сооружений. Опораживание дѣлается посредствомъ тоннеля длиною въ 185 м., прорытаго въ правомъ скалистомъ склонѣ; тоннель имѣетъ 2 метра высоты, при ширинѣ въ 1,80 метр. и соединяется съ водохранилищемъ на высотѣ около 8 метровъ надъ его дномъ. Внутри тоннеля помѣщаются три чугунныхъ водопровода, которые въ своемъ началѣ проходятъ сквозь каменную кладку толщиною въ 11 метр. и



снабжены со стороны впуска воды клапанами, управляемыми съ берега водохранилища, и со стороны выпуска кранами.

Специальный тоннель *FG*, помѣщенный непосредственно надъ первымъ *EH* (рис. 152), служить для выпуска слоя воды высотой въ 5,50 метр. (его объемъ равенъ 400.000 кубич. метр.), который содержится между нормальнымъ и наивысшимъ горизонтомъ; наконецъ, водосливъ длиною въ 20 метр., порогъ котораго расположенъ въ уровнѣ наивысшаго горизонта, устроенъ также въ правомъ берегу, на нѣкоторомъ разстояніи выше тоннелей.

Какъ примѣръ устройства, въ которомъ сооруженія для попусковъ воды соединены вмѣстѣ съ плотиной, можетъ служить водохранилище de la Mouche. Водоспуски соединены въ одной полу-башнѣ, примыкающей къ верховой поверхности плотины (рис. 153) и имѣющей въ планѣ, снаружи форму половины десяти-угольника, а внутри полукруга.

Въ наружныхъ стѣнахъ полу-башни сдѣланы отверстія, снабженные затворами; всѣхъ отверстій 4, при чемъ пороги ихъ располагаются соотвѣтственно на 3,40; 10,03; 16,80 и 22,55 метр. ниже подпорнаго горизонта; такимъ способомъ устанавливается сообщеніе между водохранилищемъ и внутренностью колодца. Кроме того въ уровнѣ водопровода для выпуска воды на внутренней плоской поверхности колодца помѣщаются два затвора, позволяющіе установить или-же прервать сообщеніе съ этимъ водопроводомъ.

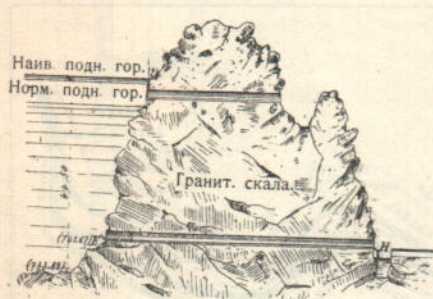


Рис. 152.

Такимъ образомъ, здѣсь имѣется двойная система затворовъ, благодаря кото-

рой, въ случаѣ порчи какого-нибудь наружнаго затвора или же при невозможности закрыть его подъ вліяніемъ посторонняго тѣла, можно продолжать съ успѣхомъ обслуживаніе водохранилища съ помощью однихъ внутреннихъ затворовъ. Относительно маневрированія затворами слѣдуетъ сказать, что ими пользуются только въ послѣдовательномъ порядкѣ по мѣрѣ постепеннаго пониженія горизонта воды, такъ что никогда не приходится поднимать ихъ при большомъ давленіи.

Ширина четырехъ отверстій одинакова и равна 0,80 метр.; высота для трехъ верхнихъ равна 1 метр. и для четвертаго 0,80 метр. Эти отверстія закрываются простыми желѣзными щитами, двигающимися въ пазахъ, выстроганныхъ также въ желѣзѣ; щиты поднимаются посредствомъ штангъ, приводимыхъ въ движеніе домкратами. Ширина внутреннихъ отверстій равна 0,60 метр., а ихъ высота—0,67 метр. Чтобы воспрепятствовать подъему воды выше самаго высокаго допускаемаго горизонта, въ водохранилищѣ de la Mouche имѣются регулирующія сооруженія, состоящія изъ поверхностнаго водослива длиною въ 30 метровъ и трехъ водоспускныхъ отверстій шириною въ 1,25 метр. и высотой также въ 1,25 метр. При подъемѣ горизонта воды на 0,20 метр. эти сооруженія могутъ пропустить расходъ воды въ 17,462 куб. метр. въ секунду.

Очистка водохранилищъ отъ наноснаго грунта. Мы уже упоминали объ опасности быстрого засоренія водохранилищъ наносами, при чемъ указы-



вали также на способы, могущіе предотвратить это засореніе, именно на бассейны для отложенія наносовъ, въ которыхъ вода очищается, прежде чѣмъ она успѣетъ попасть въ водохранилище, и на оградительныя каналы или отвѣтвленія, позволяющія отвести мутныя воды. Послѣдній способъ былъ, напримѣръ, примѣненъ для водохранилища du Gouffre—d'Enfer, какъ показано на рисункѣ 151-омъ.

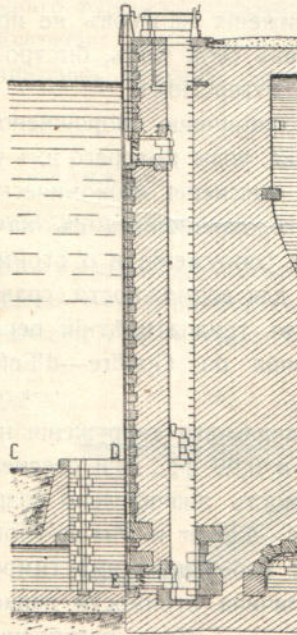
Если, несмотря на принятыя мѣры предосторожности, все-таки произошло отложеніе наносовъ, то тогда донный водоспускъ можетъ позволить выпустить слегка слежавшійся наносной грунтъ и находящіяся во взвѣшенномъ состояніи въ водѣ твердыя частицы и такимъ образомъ представляеть одинъ изъ способовъ очищенія водохранилища.

Въ Испаніи, гдѣ при стремительности потоковъ, протекающихъ въ запруживаемыхъ лощинахъ, отложенія наносовъ идутъ съ такой быстротой, что водохранилища очень быстро могутъ быть совершенно ими заполнены, примѣняется очень оригинальный способъ очищенія посредствомъ донной галереи. Вотъ, напримѣръ, какъ дѣлается очищеніе водохранилища d'Alicante. Донная галерея располагается въ самомъ тальвегѣ и пересѣкаетъ по прямому направленію массу плотины. Ея отверстіе съ верховой стороны имѣетъ 1,80 метр. ширины при высотѣ въ 2,70 метр. и затѣмъ постепенно расширяется на протяженіи всей своей длины, что облегчаетъ удаленіе наносовъ.

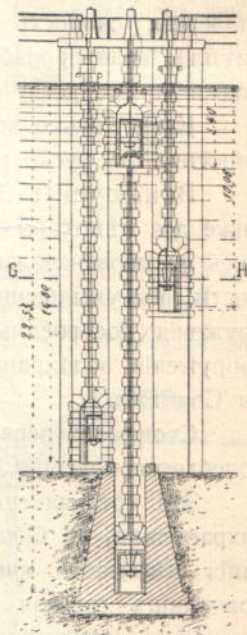
Вся галерея построена, изъ тесаного камня большихъ размѣровъ. Отверстіе съ верховой стороны закрывается щитомъ, состоящихъ изъ ряда положенныхъ другъ на друга проконопаченныхъ брусевъ, поддерживаемыхъ сзади другимъ рядомъ брусевъ, благодаря чему получается довольно солидная масса, способная сопротивляться давленію воды.

Опытъ показалъ, что въ четыре года дно водохранилища покрывается слоемъ наносовъ толщиной въ 12 — 16 метр., который образуетъ довольно плотную массу, могущую держаться самостоятельно, по крайней мѣрѣ нѣкоторое время. По прошествіи такого срока проникаютъ внутрь галереи съ низовой стороны

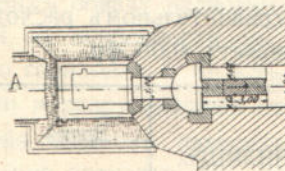
Вертик. разрѣзъ по АВ.



Лицевой фасадъ.



Гориз. разрѣзъ по CDEF.



Гориз. разрѣзъ по GH.

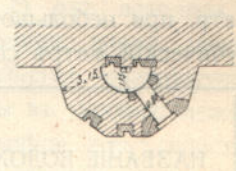


Рис. 153. Подубашня для пусковъ воды въ плотинѣ de la Monche.



и медленно съ большой осторожностью ослабляют затворъ, такъ чтобы не вызвать въ массѣ наносовъ опасныхъ движеній.

Было замѣчено, что по прошествіи такого промежутка времени какъ четыре года подобная операція можетъ быть выполнена безопасно.

Послѣ того какъ галлерейя вполнѣ открыта, посредствомъ длинной буровой штанги, проникающей сверху плотины черезъ наносы къ отверстію, даютъ доступъ водѣ къ нижнимъ слоямъ наносовъ, которые не будучи уже удерживаемы затворомъ, приходятъ, сначала, въ медленное движеніе и заполняютъ собой всю галлерейю; скорость движенія наносовъ не превышаетъ скорости пѣшехода; но затѣмъ, вода проработавъ себѣ ходъ, быстро увлекаетъ за собой все, находящееся по сосѣдству съ отверстіемъ.

Какъ только водохранилище опорожнено, лопатами сбрасываютъ остатки наносовъ въ русло ручья, воды котораго ихъ увлекаютъ дальше.

Заключеніе. Для выясненія экономической стороны вопроса мы приводимъ ниже для нѣкоторыхъ водохранилищъ съ каменной плотиною данныя о расходахъ на первоначальное сооруженіе и о стоимости на кубическій метръ вмѣстимости. Мы умышленно, для возможности сравненія выбрали исключительно сооруженія, построенные въ тридцатилѣтній періодъ времени, простирающийся отъ сооруженія водохранилища du Gouffre—d'Enfer до постройки водохранилища du Chartrain.

Стоимость первоначальнаго сооруженія на кубическій метръ вмѣстимости колеблется между 0,34 и 0,99 фр., при средней величинѣ въ 0,57 франк.

Эта средняя стоимость значительно возрастаетъ благодаря включенію водохранилищъ du Gouffre—d'Enfer и Pas-du-Riot, имѣющихъ вслѣдствіи конфигураціи мѣстности очень небольшую вмѣстимость. Для четырехъ другихъ водохранилищъ средняя величина стоимости падаетъ до 0,50 фр.

Въ водохранилищѣ des Settons, построенномъ между 1855—1858 г.г., плотина находится въ узкомъ мѣстѣ долины непосредственно за большимъ ея уширеніемъ, благодаря чему удалось получить вмѣстимость въ 22.000.000 кубич. метр. при небольшомъ сравнительномъ расходѣ въ 1.327.700 фр.; стоимость на кубическій метръ составляетъ 0,06 фр.

НАЗВАНІЕ ВОДОХРАНИЛИЩЪ.	Время сооруженія.	Вмѣсти- мость.	Стоимость первоначаль- наго сооруженія.	
			Полная.	На куб. метръ.
Водохранилище du Gouffre d'Enfer .	1861—1866	КУБ. МЕТР. 1.600.000	ФРАНК. 1.590.000	ФРАНК. 0,99
» du Ternay . . . . .	1861—1867	3.000.000	1.020.000	0,34
» de la Rive или du Ban .	1866—1870	1.850.000	950.000	0,51
» du Pas—du—Riot .	1873—1878	1.300.000	1.280.000	0,98
» de la Mouche . . . .	1885—1890	8.648.000	5.020.000	0,58
» du Chartrain . . . . .	1888—1892	4.500.000	2.100.000	0,47
Полная и средняя . . . .	—	20.898.000	11.960.000	0,57



Водохранилище des Settons представляет замѣчательный примѣръ экономіи, которую можно получить благодаря удачному выбору мѣста для сооруженія; стремленіе осуществить подобнаго рода экономію является всегда цѣлесообразнымъ. Совершенно другое слѣдуетъ сказать о тѣхъ выгодахъ, которыя имѣли бы своимъ результатомъ уменьшеніе гарантій безопасности; послѣднее является безусловно недопустимымъ. Вотъ что говоритъ по этому поводу Guillemain: «Вслѣдствіе ужасныхъ катастрофъ, связанныхъ съ прорывомъ плотинъ и ввиду невозможности точнаго расчета, слѣдуетъ принимать во вниманіе самыя неблагопріятныя предположенія; имѣя предъ собою такого противника, какъ воду, надо вооружиться противъ всякихъ, даже самыхъ невѣроятныхъ опасностей».

## ГЛАВА IX.

### Эксплоатація каналовъ.

Защита береговъ отъ разрушенія. — Поврежденія откосовъ каналовъ происходятъ главнымъ образомъ отъ слѣдующихъ причинъ: 1) отъ прижимныхъ теченій воды, въ особенности у вогнутыхъ береговъ, подмывающихъ

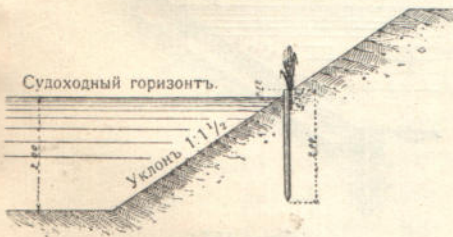


Рис. 154.

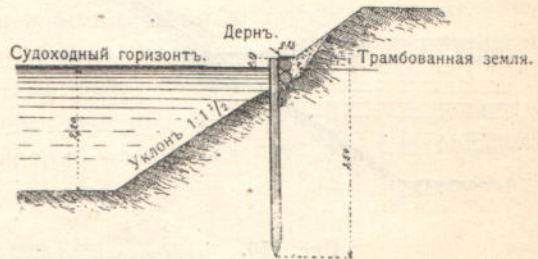


Рис. 155.

подводные откосы и способствующихъ обвалу надводныхъ, 2) отъ ледохода и поверхностныхъ быстрыхъ теченій, въ особенности въ весеннее время, разрушающихъ откосы выше меженнаго горизонта и 3) отъ волненія, развиваемаго проходящими судами и пароходами и разрушающаго откосы въ уровнѣ меженнаго горизонта. Степень разрушенія береговъ зависитъ вообще отъ свойствъ грунта, но въ еще большей мѣрѣ она зависитъ отъ скорости движенія судовъ. Поэтому, по мѣрѣ развитія судоходства, къ работамъ по укрѣпленію откосовъ каналовъ предъявляются все большія и большія требованія какъ по количеству работъ, такъ и по ихъ качеству въ смыслѣ прочности. Въ видахъ предохраненія откосовъ каналовъ, въ особенности узкихъ, обыкновенно ограничиваютъ скорость движенія пароходовъ, такъ, напримѣръ, на Сѣверо-Германскихъ каналахъ она ограничена 11 километрами въ часъ, а у насъ на Приладожскихъ каналахъ 7 верстами въ часъ. Подобное ограниченіе скорости движенія, вызванное лишь стремленіемъ сохранить отъ разрушенія откосы, а не требованіями наиболѣе экономичной тяги, наноситъ ущербъ торговлѣ и промышленности, замедляя передвиженіе грузовъ. Поэтому является чрезвычайно важнымъ примѣненіе прочныхъ, удобныхъ для судоходства и дешевыхъ типовъ укрѣпленій, къ разсмотрѣнію которыхъ мы и перейдемъ.



Выборъ типа для каждаго даннаго случая зависитъ, конечно, отъ того, ка- кой матеріалъ имѣется подъ рукою, и при томъ, изъ какого матеріала постройка и содержаніе укрѣпленія будутъ стоить дешевле. По роду матеріаловъ укрѣпле- нія могутъ быть раздѣлены на три класса: 1) типы, для постройки которыхъ употребляютъ лѣсъ въ разныхъ его видахъ: бревна, пластины, доски, хворостъ; 2) типы изъ камня разныхъ породъ и, 3) смѣшанные типы изъ дерева и камня.

Типы укрѣпленій, примѣняемыхъ на французскихъ кана- лахъ. — На рисункѣ 154-омъ изображенъ типъ, примѣненный на Сѣверѣ Франціи и Па-де-Калэ. Онъ состоитъ изъ ряда отдѣльныхъ сваекъ, забитыхъ на раз- стояніи 0,80 метра между осями. Позади ихъ заложены двѣ доски, одна надъ другой, а непосредственно за ними посажены ивовые черенки. Стоимость подоб- наго укрѣпленія не превосходитъ 2,20 франковъ на погонный метръ. Нѣсколько прочнѣе типъ, показанный на рисункѣ 155-омъ; здѣсь доски замѣнены фашинами, засыпанными сверху землей, причемъ образующаяся такимъ образомъ берма по- крывается дерномъ. Стоимость такого укрѣпленія, въ зависимости отъ числа фашинь (отъ 1-ой до 4-хъ) и длины сваекъ (отъ 2,50 до 4,50 метр.), колеблется



Рис. 156.



Рис. 157.

отъ 3,25 франк. до 11,50 франк. на погонный метръ. Небольшое распростра- неніе имѣетъ типъ, указанный на рисункѣ 156-омъ.

Мостовая, устраиваемая по всей высотѣ откоса отъ дна до нормального го- ризонта, представляетъ, конечно, превосходный способъ защиты берега, но она обходится очень дорого и, кромѣ того, требуетъ еще опорожниванія канала отъ воды. Типъ, изображенный на рисункѣ 157-омъ, обходится не менѣе 64,40 франк. погонный метръ, не считая стоимости водоотлива и устройства перемычекъ. Го- раздо большимъ распространеніемъ пользуется поэтому типъ, изображенный на расункѣ 158-омъ, примѣненный недавно на каналѣ de la Sensée. Каменный откосъ здѣсь устроенъ изъ камня на растворѣ изъ гидравлической извести; онъ опи- рается внизу на бетонное основаніе, поддерживаемое досками, упирающимися въ сваи. Стоимость такого типа обходится въ 13,50 франк., изъ которыхъ 1 фр. слѣдуетъ считать на перемычки и водоотливъ. На рисункѣ 159-омъ изображенъ типъ, отличающійся отъ предыдущаго тѣмъ, что вмѣсто камня въ немъ примѣ- нень кирпичъ, благодаря чему стоимость можетъ понизиться до 10,80 франк. погонный метръ. Такое укрѣпленіе имѣется на каналѣ Saint-Quentin.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда, въ цѣляхъ водонепроницаемости русла, подъ отко- сами заложень бетонный слой, обыкновенно примѣняются типы, показанные на рисункахъ 160 и 161-омъ. Ихъ преимущество заключается въ томъ, что они соста-



вляють какъ бы одно цѣлое съ этимъ бетоннымъ слоемъ, и водонепроницаемость русла оказывается вполне обеспеченной. Стоимость такихъ типовъ колеблется въ зависимости отъ высоты отъ 11 до 13 франк. погонный метръ.

Типы укрѣпленій, примѣняемыхъ въ Германіи. — Въ Германіи получилъ большое распространеніе типъ укрѣпленій изъ бетонныхъ плитъ, изготовленныхъ заранѣе, причемъ для увеличенія прочности ихъ часто замѣняли желѣзобетонными плитами системы Монье. Такой, напримѣръ, типъ, былъ примѣненъ на каналѣ Одеръ-Шпре. Какъ видно изъ рисунка 162-ого, береговое укрѣпленіе состоитъ изъ деревянной подпорной стѣнки, вершина которой находится на 0,20 метра ниже нормального судоходнаго горизонта; надъ стѣнкой устроена наклонная облицовка изъ плитъ Монье до высоты 0,40 метра надъ нормальн. горизонтомъ. Плиты имѣютъ 1,10 метра высоты, 0,50 метра ширины и 0,08 метра толщины. Бетонъ состоитъ изъ 1 ч. цемента и 4 ч. гравія. Арматура въ видѣ сѣтки составлена тремя продольными и четырьмя поперечными желѣзными прутьями, діаметромъ въ 5 миллим. Плиты положены на слой известковаго щебня, толщиной отъ 8 до 10 сантиметровъ.

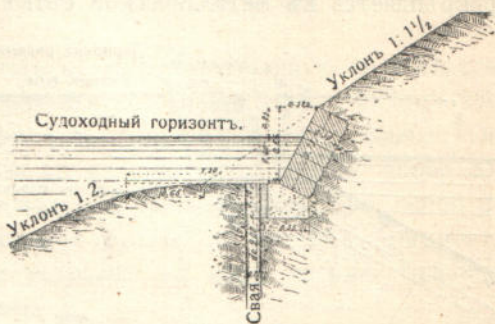


Рис. 158.

Стыки были задѣланы посредствомъ мха или полосы асфальтированного картона, помѣщаемого снизу; однако, потомъ нашли, что при сильномъ прижиманіи плитъ одной къ другой задѣлываніе стыковъ оказывается излишнимъ. Стоимость плитъ Монье отъ 2,75 до 3,32 франк. за квадр. метръ. Укладка, включая сюда слой щебня, обошлась въ 0,75 франк. за квадр. метръ. Такъ какъ средняя цѣна подпорной деревянной стѣнки за погонный метръ была 10,62 франк., то полная стоимость укрѣпленія опредѣлилась въ среднемъ около 14,88 франк. за погонный метръ.

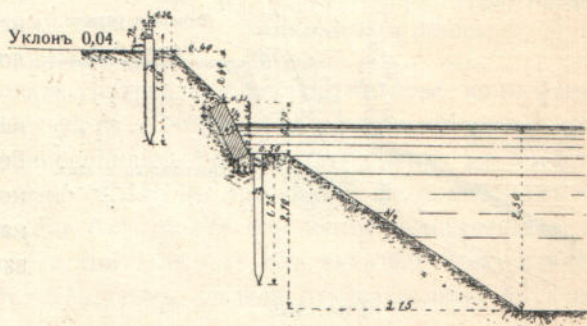


Рис. 159.

Это укрѣпленіе въ общемъ хорошо сохраняется. Плиты прекрасно выносятъ какъ дѣйствіе атмосферныхъ перемѣнъ, такъ и размывающее дѣйствіе воды. Тамъ, гдѣ онѣ осѣли вслѣдствіе вымыванія песка черезъ стыки, былъ увеличенъ слой щебня.

Профессоръ Меллеръ предложилъ также систему одежды откосовъ, получившую въ Германіи довольно большое распространеніе. Эта система отличается отъ предыдущаго типа въ двухъ отношеніяхъ: 1) вмѣсто того, чтобы составлять одежду изъ плитъ небольшихъ размѣровъ, приготовленныхъ заранѣе, она изготовляется всецѣло на мѣстѣ и представляетъ непрерывную выстилку; 2) укрѣп-







быть сближены до 8 или 10 метровъ. Они придерживаются того взгляда, что трещины вообще не должны быть допускаемы, такъ какъ онѣ влекутъ за собою размельченіе бетона и разрушеніе арматуры даже въ томъ случаѣ, когда она гальванизирована.

Равнымъ образомъ признано, что появленіе трещинъ менѣе возможно въ бетонѣ (гравій, песокъ, цементъ), чѣмъ въ растворѣ (песокъ и цементъ). Рекомендуются слѣдующій составъ бетона: 1 часть цемента, 3 части песка и 3 части щебня. Пробовали употреблять кирпичный щебень, но битый камень даетъ лучшіе результаты.

Якоря служатъ для того, чтобы придать одеждѣ недостающую ей вслѣдствіе незначительной массы жесткость. Они препятствуютъ перемѣщенію ея подѣ вліяніемъ внѣшнихъ воздѣйствій, какъ, напримѣръ, ударовъ лодокъ, льдинъ. Они служатъ также опорными стойками, когда одежда подмыта. Вообще якоря поддерживаютъ одежду при ослабленіи ея вслѣдствіе трещинъ. Но само собою понятно, что они полезны настолько, насколько грунтъ, въ который они вбиты, обладаетъ неподвижностью. Если одежда устроена на слоѣ насыпи толщиной болѣе длины якорей, то все сооруженіе вмѣстѣ съ якорями можетъ быть сдвинуто при движеніи грунта.

Длина этихъ якорей ограничена на практикѣ, съ одной стороны, способомъ ихъ изготовленія, съ другой стороны, — вліяніемъ температуры. Когда анкеръ слишкомъ длиненъ, его нижняя часть, не подвергаясь дѣйствію мороза, можетъ отдѣлиться отъ верхней части. Разстояніе между якорями тоже ограничено и зависитъ отъ толщины одежды.

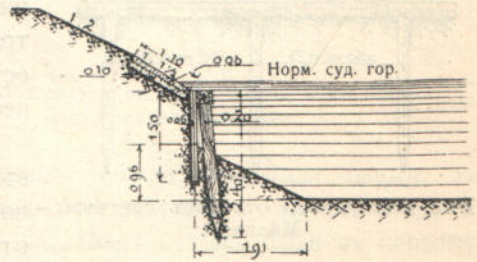


Рис. 162. Каналъ Одеръ-Шпре. Укрѣпленіе новаго берега.

Нѣкоторые инженеры критиковали употребленіе якорей, которые, по ихъ мнѣнію, скорѣе вредятъ, чѣмъ способствуютъ устойчивости одежды. Морозъ, дѣйствуя на нижележащій грунтъ, приподнимаетъ слой бетона, якоря же представляютъ этому движенію сопротивленіе, и бетонъ трескается вдоль якорныхъ линій. И дѣйствительно, грунтъ можетъ быть болѣе или менѣе чувствителенъ къ дѣйствію мороза, смотря по тому, состоитъ-ли онъ изъ влажнаго песка или изъ глины, а потому, смотря по обстоятельствамъ, одежда откоса должна быть болѣе или менѣе гибкой.

Окончательный выводъ, который можно сдѣлать изъ опытовъ, слѣдующій: одежда Меллера годится исключительно или для плотнаго, или для малоизмѣняемаго грунта. Если же приходится имѣть дѣло съ подвижнымъ грунтомъ, способнымъ испытывать осадку или пученъе, то предпочтительнѣе принять систему защиты менѣе жесткую, какъ, напримѣръ, одежду изъ плитъ.

Одежда Меллера испытывалась на каналѣ Дортмундъ-Эмсъ нѣсколько разъ. Первый опытъ былъ произведенъ въ 1894 году на протяженіи сорока метровъ.

Наклонъ откосовъ измѣнялся отъ  $1:1\frac{1}{4}$  до  $1:3$ . Одежда была усилена проволоками отъ 2-хъ до 4-хъ миллиметровъ діаметромъ, расположенными горизонтально и натянутыми при помощи небольшихъ камней Р, уложенныхъ возлѣ



1:2:3

якорей (рис. 163). Составъ бетона былъ 1 часть цемента, 2 части песку и 3 части гравія для верхней части откоса до горизонта на 0,30 метра ниже нормального уровня воды. Ниже этого, гдѣ морозъ не могъ оказывать дѣйствія, употребляли болѣе тощій бетонъ: 1 часть цемента на 2 части песку, 3 части гравія и 2 части щебня. 1:2:5



Рис. 163. Одежда откосовъ системы Мёллера.

Эта одежда, однако, не оправдала ожиданий, такъ какъ въ ней по линиямъ якорей появились горизонтальныя трещины.

Въ 1896 году Меллеръ построилъ двѣ одежды въ 20 метровъ длины и около 50 кв. метровъ поверхности каждая. Эти одежды, выстроенныя безъ стыковъ, при толщинѣ 8 сантим., съ перваго же года дали вертикальныя трещины черезъ каждые 2—3 метра и одну горизонтальную въ разстояніи одного метра отъ гребня. Трещины эти имѣли большею частью ширину отъ  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{2}$  миллиметра, но встрѣчались въ 1 и 1,5 миллим. Онѣ оставались безъ перемѣны и не пропускали песокъ изъ-подъ одежды.

Одежда въ 1000 метровъ была выстроена въ 1897 году. По истеченіи нѣкотораго времени показались на правильныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга вертикальныя трещины; изъ нихъ

нѣкоторыя были довольно широкія, и края ихъ разрушены.

Другая одежда, построенная приблизительно въ то же время и при тѣхъ же условіяхъ, но снабженная вертикальными стыками въ 15 миллиметр. черезъ каж-



Рис. 164. Одежда между Holtenau и Friedrichsort.

дые 7 метровъ, всетаки дала въ каждомъ промежуткѣ двѣ или три очень тонкихъ трещины. Въ стыкахъ арматура прервана. Водонепроницаемость была обезпечена листами просмоленого картона, помещеннаго снизу. Инженеры, завѣдывавшіе этими работами, заключили изъ этого опыта, что появленіе трещинъ въ сплошныхъ облицовкахъ неизбежно, если не проектировать стыковъ черезъ 1,5 метра. Они высказались за

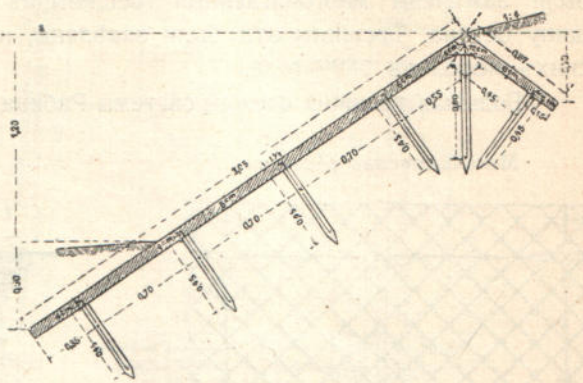
примѣненіе для покрытія откосовъ отдѣльныхъ плитъ, приготовленныхъ заранее. Относительно системы Меллера они находятъ необходимымъ во всякомъ случаѣ кромѣ вертикальныхъ стыковъ устраивать еще одинъ горизонтальный стыкъ немного выше уровня воды. Составъ бетона былъ: 1 часть цемента на 3 части



песку выше и 1 часть цемента на 5 частей песку ниже предѣла дѣйствія мороза. Толщина равнялась 8 сантиметрамъ.

Эти бетонныя покрытія стоили 3,75 фран. за квад. метръ. Вообще цѣна одежды системы Меллера, включая проволоки и анкера, колеблется между 2,75 и 4,40 фран. за квад. метръ; одинъ анкеръ стоитъ 0,125—0,16 фран.; арматура стоитъ 0,375 до 0,50 фран. за квад. метръ.

Въ 1898 году администрація имперской верфи построила въ Кильской бухтѣ между Holtenau и Friedrichsort одежду системы Меллера длиною 1700 метровъ. Рисунокъ 164-ый. представляетъ производство этой работы. Искусственные стыки были размѣщены черезъ промежутки около 20 метровъ. Одна полоса просмоленнаго картона помѣщена подъ стыкомъ, а другая въ самомъ стыкѣ. Толщина 6 сантиметровъ. Бетонъ имѣетъ составъ: 1 часть цемента на 4 части песку и 8 частей щебня.



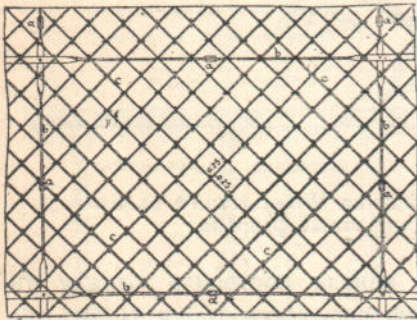


поперечномъ направленіяхъ, повертываются въ мѣстахъ взаимнаго пересѣченія плашмя и склепываются здѣсь. Сверху укладываютъ сѣтку *c* изъ круглыхъ желѣзныхъ прутьевъ, связанныхъ между собою, съ полосами и якорями. Составленная такимъ образомъ рѣшетка заливается въ массу бетона, состоящего изъ цемента, гравія и кирпичнаго щебня. Поверхность выравнивается цементнымъ растворомъ.

Эта одежда сначала дала вполне удовлетворительные результаты, но позже были замѣчены многочисленныя трещины въ 2 миллиметра, но не на всю толщину бетона. Трещины эти были заделаны, но снова появились послѣ декабрьскихъ морозовъ 1899 года.

Большая толщина одежды системы Рабица даетъ ей нѣкоторое преимущество

Металлическая рѣшетка.



Распределеніе якорей и полосового желѣза.



Поперечный разрѣзъ одежды.

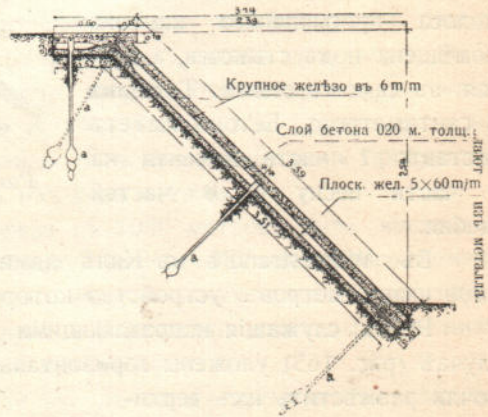


Рис. 167. Одежда берега Wentowkanal въ Marienthal'ѣ.

передъ системой Меллера въ смыслѣ меньшихъ вліяній измѣненій температуры на слой бетона и на поддерживающій его грунтъ. Но за то якоря не защищены отъ ржавчины, и вся система значительно дороже.

Геннебикъ не создалъ особаго типа одежды откосовъ, но ему принадлежитъ идея примѣненія желѣзобетонныхъ свай и шпунтовыхъ рядовъ къ укрѣпленію крутыхъ береговъ на подобіе устройства набережныхъ стѣнъ.

Такъ, берега расширеннаго и укрѣпленнаго канала Гентъ-Тернейценъ укрѣплены непрерывнымъ шпунтовымъ рядомъ, вбитымъ почти вертикально въ грунтъ и удерживаемымъ за верхнюю часть анкерными стержнями, прикрѣпленными къ сваямъ. Конструкція этого укрѣпленія видна на рисункѣ 168-мъ. Этотъ родъ защиты по внѣшнему виду и по роду сопротивленія представляетъ собою скорѣе подпорную стѣнку, чѣмъ одежду откоса. Стоимость такого укрѣпленія весьма значительна и доходитъ до 180 фран. за погонный метръ.

Типы укрѣпленій откосовъ каналовъ въ Россіи.—Типъ № 1 *a* и *b* (рис. 169 и 170). Укрѣпленіе состоитъ изъ плетневыхъ заборовъ высотой отъ  $1\frac{3}{4}$  до 3-хъ футовъ; сосновые или еловые колья толщиной 1— $1\frac{1}{2}$  вершка забиваются у подошвы откоса на глубину 2—3 фута на разстояніи  $\frac{1}{2}$ —1 футъ



другъ отъ друга. Матеріаломъ для плетня служитъ ивнякъ. За заборами въ видахъ предохраненія грунта отъ вымыванія укладываютъ фашины, а затѣмъ дѣлаютъ присыпку земли и откосъ планируютъ подъ рейку; иногда обшивають

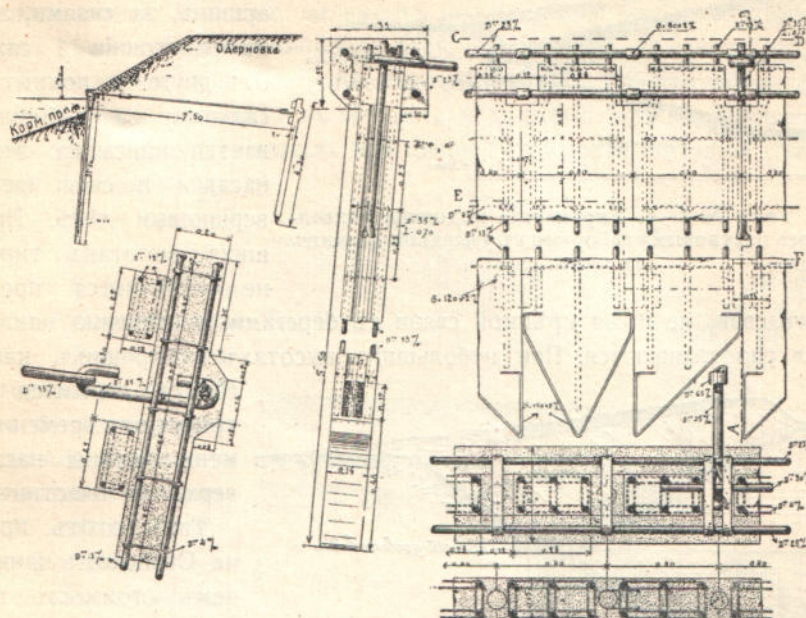


Рис. 168. Каналъ Гентъ—Тернейценъ.—Укрѣпленіе берега въ Terdonck'ѣ.

его дерномъ плашмя съ прибивкою колышками изъ лозы или ивы. При производствѣ работъ осенью, въ сентябрѣ или октябрѣ, и при употребленіи въ дѣло матеріаловъ свѣже-срубленныхъ проростаніе ивняка идетъ довольно успѣшно. Укрѣпленіе держится исправно около 5 лѣтъ, но требуетъ обязательной околки льда. Этотъ типъ примѣняется на Огинскомъ каналѣ на прямыхъ участкахъ съ небольшимъ теченіемъ. Стоимость его 1 р. 54 к. погонная сажень.

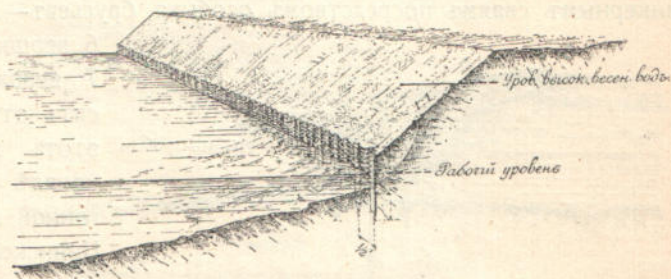


Рис. 169 Типъ № 1—а. Укрѣпленіе подошвы надводнаго откоса плетневыми заборами.

Типъ № 2 (рис. 171).—Укрѣпленіе представляютъ плетневые заборы высотой до 3-хъ футовъ съ анкерами; сосновые или еловые колья толщиной отъ 1 1/2 до 2 вершковъ забиваются у подошвы откоса на разстояніи около 1 фута другъ отъ друга. Матеріаломъ для плетня заборовъ и анкеровъ служитъ ивнякъ. Загрузкой за заборами служитъ камень. Разстояніе между анкерами принято въ 1 сажень. Продолжительность службы его нѣсколько больше, чѣмъ типа № 1.



Стоимость погонной сажени въ среднемъ 2 р. 55 к. Типъ этотъ примѣненъ на Онежскомъ каналѣ.

Типъ № 3 (рис. 172).—Укрѣпленье представляютъ пластинныя  $2\frac{1}{2}$ —3 верш-

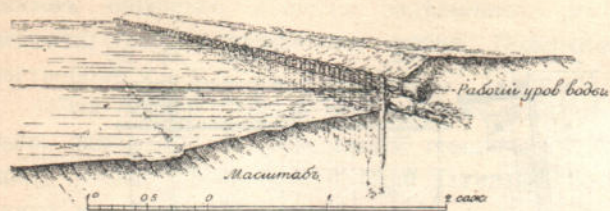


Рис. 170. Типъ № 1—6. Укрѣпленье подошвы надводнаго откоса плетневыми заборками съ укладкою фашинъ за ними.

такъ какъ сваи, не имѣя крѣпкой связи съ берегами, постепенно наклоняются, и заборки разстраиваются. При небольшихъ высотахъ и хорошихъ качествахъ

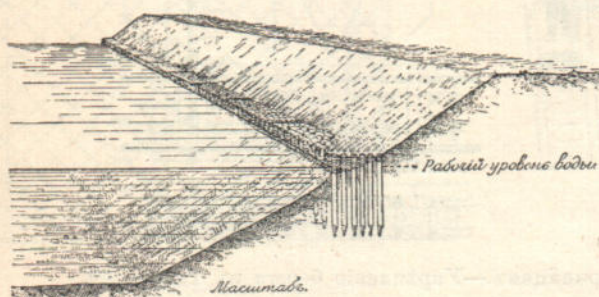


Рис. 171. Типъ № 2. Укрѣпленье подошвы надводнаго откоса плетневыми заборками съ анкерами.

съ тою лишь разницей, что въ немъ пластинная заборка притянута къ анкернымъ сваямъ посредствомъ особыхъ брусевъ—якорей. Сваи и заборки изъ



Рис. 172. Типъ № 3. Укрѣпленье подошвы надводнаго откоса пластинными заборками.

занными насадками. Высота щитовъ до 1 сажени; за щитами присыпка земли (рис. 174).

Этотъ типъ примѣненъ на Днѣпровско-Бугскомъ каналѣ и обошелся въ среднемъ 11 р. 9 к. за погон. сажень.

Типъ № 6. — Укрѣпленье представляютъ шпунтовые линіи высотой около

вершковые заборки, высотой 1—2 аршина, за сваями, забитыми въ разстояніи 1 саж. другъ отъ друга и покрытыми насадками; за заборками дѣлается присыпка земли. На насадки и сваи идетъ 5—6 вершковый лѣсъ. При большихъ высотахъ типъ этотъ не отличается прочностью, грунта держится хорошо, требуя отъ времени до времени замѣны насадокъ и верхнихъ пластинъ.

Типъ этотъ примѣненъ на Огинскомъ каналѣ, причемъ стоимость погонной сажени его приблизительно 7 р. 50 к.

Типъ № 4 (рис. 173) представляетъ нѣсколько видоизмѣненный типъ № 3

съ тою лишь разницей, что въ немъ пластинная заборка притянута къ анкернымъ сваямъ посредствомъ особыхъ брусевъ—якорей. Сваи и заборки изъ 6 вершковаго лѣса, а насадки изъ 7 вершковаго. Длина свай зависитъ отъ плотности грунта. Типъ этотъ примѣненъ на Огинскомъ каналѣ при средней стоимости погонной сажени въ 28 руб. и на Цнинскомъ каналѣ при средней стоимости—въ 20 р. 32 коп.

Типъ № 5.—Укрѣпленье состоитъ изъ щитовъ, составленныхъ изъ  $2\frac{1}{2}$ -вершковыхъ пластинъ на шпонкахъ, заложенныхъ за сваями, забитыми черезъ одну сажень и свя-



0,50 саж. изъ  $2\frac{1}{2}$ —3 дюймовыхъ досокъ, забитыхъ на глубину 1—2 саж. съ маячными или узловыми круглыми сваями, толщиною 6—7 вершковъ, забитыми черезъ одну сажень, и парными схватками въ уровнѣ весеннихъ водъ. Выше насадокъ берегъ срывають или планируютъ подъ одиночный или полуторный уклонъ съ бермою шириною въ 1 саж. на высотѣ около сажени надъ схватками. Откосъ ниже бермы укрѣпляется обыкновенно дерномъ, а выше—посадкою ивовыхъ черенковъ. Типъ этотъ держится очень хорошо, не требуя почти ремонта, и лишь послѣ 20—25 лѣтъ приходитъ въ ветхость и долженъ быть возобновляемъ; примѣненъ онъ на Лепельскомъ каналѣ при средней стоимости погонной сажени 36 р. 65 к. и на Веребскомъ каналѣ при той-же средней стоимости.

Типъ № 7 (рис. 175). Укрѣпление состоитъ изъ каменной стѣнки, высотой и толщиною въ 0,25 саж., изъ булыжнаго камня, уложенной у подошвы надводнаго откоса на сплошномъ рядѣ кольевъ толщиною  $1\frac{1}{2}$ —2 вершка.

Типъ этотъ примѣненъ на Онежскомъ каналѣ для укрѣпленья невысокихъ откосовъ, выпучивающихся ил сползающихъ, причемъ средняя стоимость погонной сажени оказалась въ 8 р. 25 к.

Типъ № 8—(рис. 176). Укрѣпление состоитъ изъ булыжной мостовой по ширинѣ около 2,6 саж. полуторнаго откоса, поддерживаемой у подошвы шпунтовой линіей изъ трехдюймовыхъ досокъ, забитыхъ на 1 саж.; насадки шпунтовыхъ линій, укрѣпленныя на шипахъ маячныхъ свай, притянуты къ особымъ анкернымъ сваямъ помощью брусевъ-якорей. Маячныя

сваи 6 вершковаго лѣса забиты въ грунтъ на 2 саж., а сваи анкера на  $1\frac{1}{2}$  саж.

Типъ этотъ примѣненъ на Сиверскомъ каналѣ при средней стоимости погонной сажени въ 34 р. 90 к. и на Вишерскомъ каналѣ, гдѣ стоимость погонной сажени возросла до 44 р. 18 коп. При замѣнѣ шпунтовой линіи заборкой за сваями стоимость погонной сажени понижалась до 23 р. 73 к.

Типъ № 9. (Рис. 177).—Укрѣпление состоитъ изъ булыжной мостовой на мху до горизонта высокихъ водъ по двойному откосу. Подошва мостовой подержана каменной стѣнкой шириною по низу 0,50 саж., а по верху—0,25 саж.

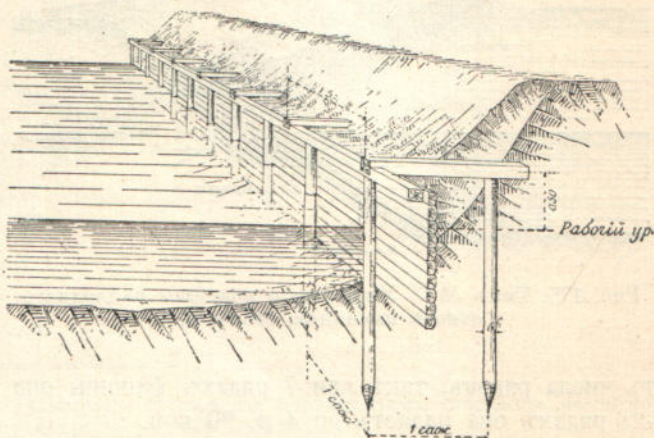


Рис. 173. Типъ № 4. Укрѣпление подошвы надводнаго откоса пластинными заборками съ анкерами.



Рис. 174. Типъ № 5. Укрѣпление подошвы надводнаго откоса пластинными щитами.



и высотой 0,30 саж., сложенной за сплошнымъ рядомъ 5-ти дюймовыхъ кольевъ. Часть откоса выше горизонта высокихъ водъ и полосы по гребню защищаются дерномъ. Типъ этотъ примѣненъ на каналѣ Императора Александра II, причемъ стоимость погонной сажени его оказалась около 12 руб.

Типъ № 10. (Рис. 178).—Укрѣпленіе состоитъ изъ горизонтальныхъ рядовъ однокомельныхъ fascинъ, уложенныхъ перпендикулярно къ теченію (комлями въ рѣку, или верхнія ряды комлями въ рѣку, а нижніе—метлами въ рѣку) съ

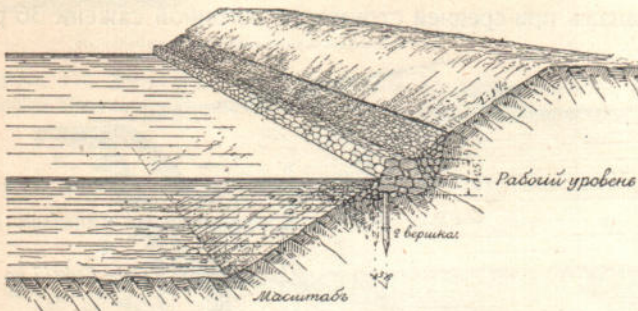


Рис. 175. Типъ № 7. Укрѣпленіе подошвы надводного откоса каменною стѣною.

укрѣпленіемъ ихъ прутяными канатами, прибитыми 4-хъ футовыми кольями. Со стороны рѣки fascинная кладка имѣетъ одиночный или полуторный уклонъ. Типъ этотъ пользуется большимъ распространеніемъ, такъ онъ примѣненъ на каналахъ: Веребскомъ, Лепельскомъ, Сергучевскомъ; стоимость погонной сажени колеблется въ зависимости

отъ числа рядовъ, такъ при 7 рядахъ fascины она доходитъ до 16 руб., а при 2-хъ рядахъ она падаетъ до 4 р. 90 коп.

Типъ № 11. (Рис. 179).—Укрѣпленіе состоитъ изъ горизонтальныхъ

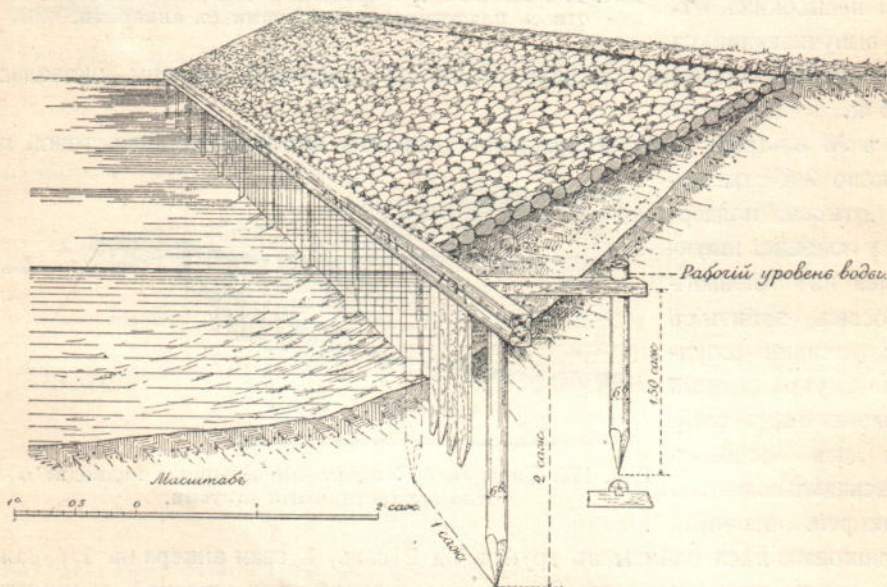


Рис. 176. Типъ № 8. Вымостка надводного откоса булыжникомъ съ укрѣпленіемъ подошвы сваями съ анкерами.

рядовъ хвороста, уложенныхъ перпендикулярно къ теченію и присыпанныхъ землею, причемъ верхушки хвороста образуютъ полуторный откосъ, подошва котораго укрѣплена шпунтовой линіей изъ трехдюймовыхъ досокъ, забитыхъ на глубину 1 саж. съ двойными 6-ти вершковыми насадками, насаженными на



направляющихъ сваяхъ, съ врубкою между ними брусевъ—якорей, притянутыхъ къ анкернымъ сваямъ, забитымъ на глубину  $1\frac{1}{2}$  саж.

Этотъ типъ примѣненъ на Вишерскомъ каналѣ при глинистомъ пучистомъ грунтѣ; хворостъ, дѣйствуя какъ дренажъ, способствуетъ скорому высыханію откосовъ и предохраняетъ ихъ отъ сползанія. Стоимость погонной сажени обошлась въ 42 р. 24 к.

Очистка каналовъ отъ наносовъ.—Питающія каналъ воды, подходя

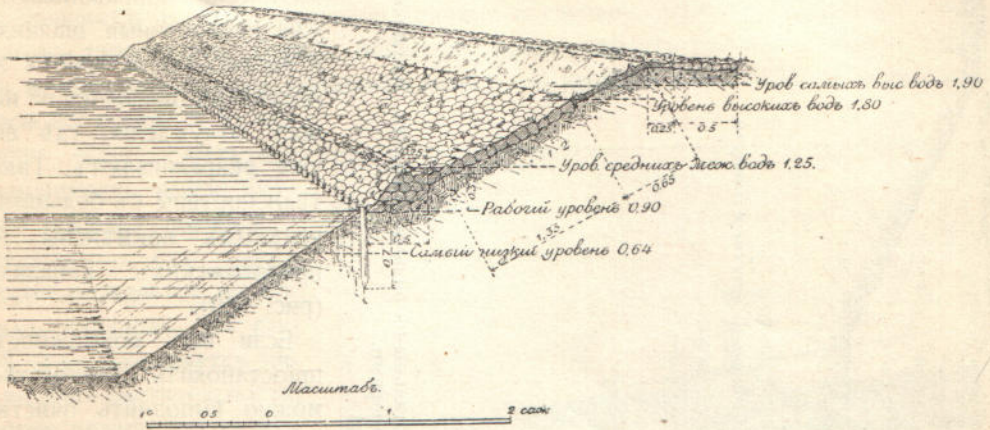


Рис. 177. Типъ № 9. Вымостка надводного откоса съ укрѣпленіемъ подошвы каменною стѣнкою за рядомъ кольевъ.

къ нему съ нѣкоторой скоростью, несутъ во взвѣшенномъ состояніи наносы. Очевидно, что, попадая почти въ стоячую воду канала, онѣ отложатъ эти наносы на дно его и такимъ образомъ будутъ способствовать его обмелѣнію. Другой причиной обмелѣнія каналовъ является разрушеніе откосовъ, особенно въ предѣ-

лахъ нормального горизонта. Подъ вліяніемъ этихъ двухъ причинъ первоначальное трапециoidalное сѣченіе канала постепенно обращается въ криволинейное, близкое къ треугольному съ притупленными углами. Въ результатѣ сначала

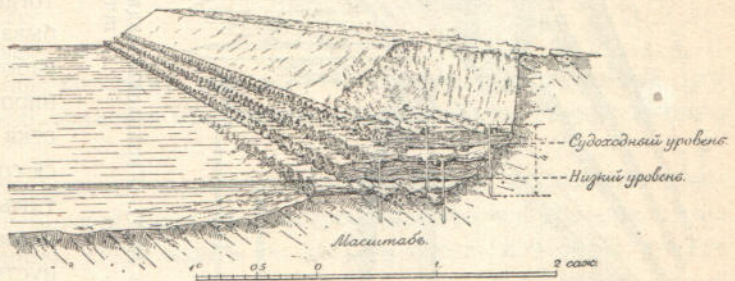


Рис. 178. Типъ № 10. Укрѣпленіе надводного откоса горизонтальными рядами фашинь.

становится затруднительнымъ прохожденіе встрѣчныхъ груженныхъ судовъ, а затѣмъ оказывается невозможнымъ проходить съ проектной осадкой судовъ. Чтобы снова дать каналу первоначальное сѣченіе приходится прибѣгнуть или къ землечерпанію, или къ расчисткѣ насухо съ водоотливомъ. Пользованіе обыкновенными землечерпательницами представляетъ большія неудобства, какъ вслѣдствіе того, что работа снаряда сильно стѣсняетъ судоходство, такъ и потому, что приходится снимать слишкомъ тонкій слой грунта, что сильно понижаетъ производительность снаряда и удорожаетъ стоимость выемки. Кромѣ того большой



недостатокъ подобной подчистки заключается въ томъ, что нельзя придать правильнаго уклона откосамъ, вслѣдствіе чего они подвергаются новымъ обрушеніямъ. Вопросъ объ удаленіи вынутаго грунта также является одной изъ слабыхъ сторонъ землечерпанія. Большимъ усовершенствованіемъ въ этомъ

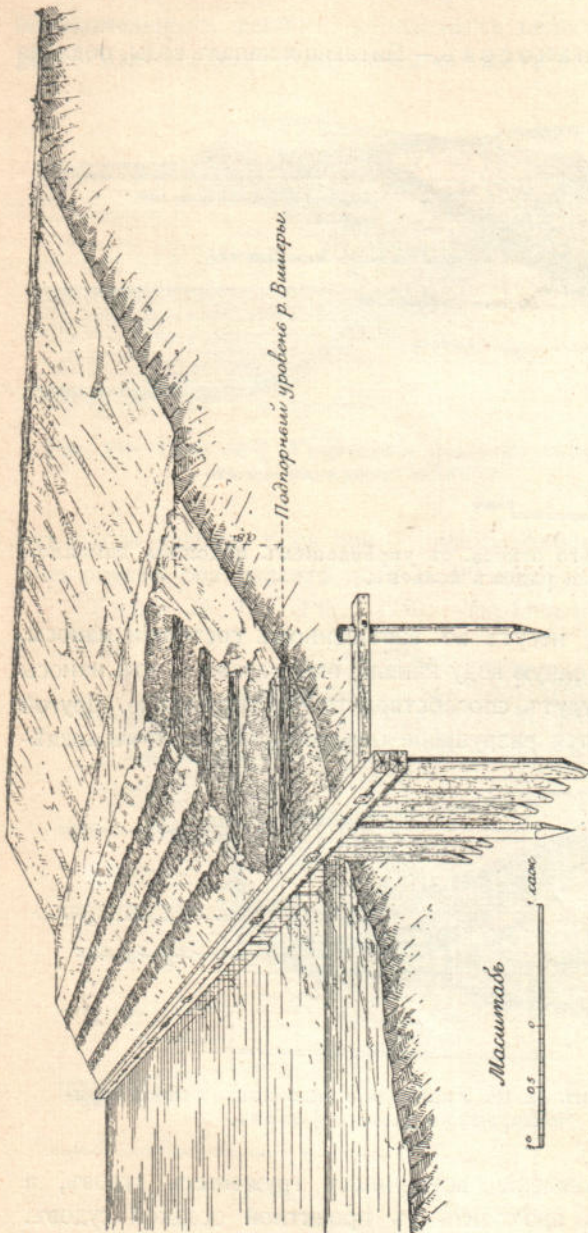


Рис. 179. Типъ № 11. Укрѣпленіе надводнаго откоса горизонтальными рядами хвороста, поддержанное шпунтовой линіею съ анкерами.

направленіи является примѣненіе особыхъ транспортеровъ, которые автоматически опоражниваютъ уже наполненные шаланды и выбрасываютъ грунтъ за предѣлами бичевника на полосу отчужденія, гдѣ его уже разравниваютъ. Такіе транспортеры съ большимъ успѣхомъ примѣнены на приладожскихъ каналахъ (рис. 180).

Если есть возможность пріостановить судоходство, можно выполнить очистку канала на сухо. Этотъ способъ несомнѣнно даетъ возможность самымъ точнымъ образомъ возстановить нормальный профиль канала; но вообще онъ можетъ быть примѣняемъ только тогда, когда пріостановка бываетъ вынуждена другими работами. Только въ бетонированныхъ бѣефахъ очистка канала на сухо является совершенно неизбѣжной, такъ какъ землечерпаніе является совершенно недоступнымъ.

Какими-бы способами ни производилась расчистка канала, она представляетъ серьезныя неудобства съ точки зрѣнія водонепроницаемости русла канала. Дѣй-

ствительно, мы знаемъ, что вновь устроенные каналы, благодаря фильтраціи, пропускаютъ весьма значительное количество воды и что они становятся непроницаемыми со временемъ, благодаря отложеніямъ, которыя покрываютъ ихъ стѣнки, такимъ образомъ, трогая эти отложенія, всегда уменьшаютъ непрони-



цаемость канала, и зло еще болѣе увеличивается, если дно будетъ прокопано ниже нормальнаго и такимъ образомъ будетъ открытъ слой грунта, сохраняющаго свою первоначальную непроницаемость. Поэтому лучше всего прибѣгать къ расчисткамъ только въ силу необходимости; пока отложеніе не превышаетъ допустимыхъ границъ, лучше возстановлять недостатокъ судоходной глубины небольшимъ повышеніемъ уровня воды, если это возможно.

Эти соображенія оправдываютъ уже раньше данный совѣтъ, имѣвшій въ виду другія точки зрѣнія,—придавать профилю канала, когда это возможно сдѣлать безъ большихъ затратъ, большую ширину и глубину, чѣмъ то требуется нормальнымъ габаритомъ. Такимъ образомъ можно сдѣлать расчистки болѣе рѣдкими и, поступая такимъ образомъ, можно, по крайней мѣрѣ отчасти, оставлять наносы въ руслѣ, т. е. сохранять естественную непроницаемость, всегда имѣющую реальное значеніе.

Независимо отъ травы, которая появляется на откосахъ каналовъ, въ глубинѣ воды развивается чисто водяная растительность, которая представляетъ препятствіе движенію питающей воды и проходу судовъ; въ особенности отъ этого страдаютъ паровыя суда и, главнымъ образомъ, тѣ, которые имѣютъ винтовые двигатели. Необходимо срѣзать эти растенія тотчасъ, какъ только онѣ достигли развитія, при которомъ они могутъ служить препятствіемъ, что иногда приводитъ къ необходимости нѣсколькихъ скашиваній въ теченіе лѣтняго сезона.

Въ этомъ случаѣ примѣняются различные способы. Иногда по каналу проводятъ нѣчто въ родѣ треугольной косы съ заостренными краями, которую легкія цѣпи, свободно отпущенныя, удерживаютъ на днѣ; съ берега или судна тянутъ этотъ приборъ и сообщаютъ ему рядъ толчковъ. Иногда примѣняютъ цѣлый рядъ косъ, которыя рѣжутъ траву на всемъ периметрѣ сѣченія, когда имъ сообщаютъ колебательныя движенія, медленно подвигаясь впередъ. При любомъ изъ этихъ способовъ срѣзка производится очень легко. Достаточно только въ каналѣ произвести небольшое теченіе, которое бы дало растеніямъ слабый наклонъ въ низовую сторону, причемъ приборомъ дѣйствуютъ вверхъ. Тогда срѣзка производится легко и хорошо.

Уборка этихъ травъ, изъ которыхъ однѣ всплываютъ, а другія остаются въ водѣ, не такъ легка. Въ первомъ случаѣ самое простое, это собрать ихъ и вытащить на берегъ; во второмъ случаѣ приходится прибѣгать къ сѣтямъ, примѣ-



Рис. 180. Каналъ Императора Александра II.—  
Видъ транспортера.



неніе которыхъ представляетъ большія затрудненія, въ особенности, если количество срѣзанныхъ растений велико; но нельзя и не сдѣлать этого, если не хотятъ, чтобы эти травы попали въ щиты между воротами шлюзовъ, или чтобы онѣ не собрались въ отдѣльныя массы, могущія даже остановить суда.

Само собой разумѣется что срѣзанныя водяныя растения всплываютъ въ томъ случаѣ, если онѣ не достигли зрѣлости и, наоборотъ, остаются въ водѣ въ болѣе позднемъ возрастѣ. Кромѣ того ростъ растений бываетъ болѣе быстрымъ и болѣе изобильнымъ тамъ, гдѣ вода освѣщается солнцемъ, т. е. въ тѣхъ частяхъ, гдѣ нѣтъ посадокъ. Въ виду подобныхъ наблюденій слѣдуетъ выполнять срѣзку травъ лишь только ихъ можно взять косою, а также начинать съ участковъ, подверженныхъ солнечнымъ лучамъ, хотя-бы въ послѣдствіи пришлось возобновлять эту операцію.

Не менѣе необходима срѣзка травъ въ питательныхъ каналахъ, гдѣ онѣ развиваются быстро, благодаря небольшой глубинѣ воды; иногда приходится дѣлать срѣзку почти каждый мѣсяцъ въ теченіе лѣта, если не хотятъ допустить значительнаго уменьшенія расхода питающей воды. Изъ вышеприведеннаго ясна польза посадокъ на берегахъ ихъ деревьевъ, образующихъ защиту; это самое вѣрное средство избѣжать слишкомъ быстрого развитія водяной растительности.

Изъ всѣхъ приведенныхъ поясненій вытекаетъ слѣдствіе, что срѣзка травъ приводитъ только къ посредственнымъ результатамъ; чтобы достигнуть хорошаго результата на продолжительное время или хотя-бы на большій срокъ, слѣдовало бы вырвать съ корнемъ водяныя растения, что на практикѣ могло бы быть сдѣлано только съ помощью черпанія или расчистки, т. е. съ помощью операцій дорогихъ и представляющихъ тѣ неудобства, на которыя мы указывали уже выше.

Очистка каналовъ отъ льда.—На каналахъ ледъ образуется быстрѣе, чѣмъ на путяхъ съ естественнымъ теченіемъ,—по крайней мѣрѣ, при менѣе значительныхъ холодахъ. Пока онъ еще не образовался, можно попытаться предупредить его образованіе, усиливая теченіе питающей воды (подобный же способъ можно рекомендовать для ускоренія таянія льда при оттепеляхъ); но когда вся поверхность канала покрылась льдомъ, и когда онъ достигъ извѣстной толщины, то это зло является неизбѣжнымъ, и приходится съ нимъ мириться, въ особенности въ мѣстахъ съ холоднымъ климатомъ.

Дѣйствительно, на внутреннихъ каналахъ, вообще говоря, невозможна на практикѣ сломка льда въ цѣляхъ пропуска судовъ, такъ какъ нѣтъ возможности убрать ледъ. Если морозъ великъ, то льдины каждую ночь спаиваются, но и плавающія льдины могутъ повредить судамъ и оказать препятствіе для ихъ прохода почти такое же, какъ если бы ледъ былъ непрерывенъ.

Эту операцію можно пробовать съ шансами на успѣхъ только въ томъ случаѣ, когда морозъ не силенъ и не продолжителенъ, она можетъ также быть оправдана во всѣхъ случаяхъ, когда наступаетъ оттепель. Но она всегда отнимаетъ много времени, затруднительна и къ ней слѣдуетъ привлекать судоходцевъ, которые изъ нея извлекаютъ пользу; ихъ участіе является лучшимъ доказательствомъ той необходимости, которую она представляетъ, и въ то же время гарантіей, что усилія и принесенныя жертвы не будутъ напрасны.



Для открытія прохода по льду могутъ быть примѣнены различные способы. Можно съ помощью топоровъ прорубить двойную борозду на необходимую ширину и разломать ледъ между этими бороздами. Этотъ способъ медленный, дорогой, но не требующій специальныхъ механизмовъ; онъ доступенъ всѣмъ и можетъ быть примѣняемъ, когда угодно, даже вдали отъ городовъ.

Интересный опытъ въ этомъ родѣ былъ произведенъ de Mas'омъ на каналѣ Neuffosé во время знаменитой зимы 1879—1880 г. Въ концѣ длиннаго періода сильныхъ холодовъ, которые ознаменовали эту исключительную зиму, когда наконецъ наступила оттепель, каналъ былъ покрытъ толстымъ слоемъ льда въ нѣсколько дециметровъ. Невозможно было долѣе ожидать, пока этотъ ледъ растаетъ; взломать его, не удаляя льдинъ, тоже не улучшило бы положеніе вещей, а удалить ледъ черезъ рядъ шлюзовъ было невозможно; пришлось остановиться на слѣдующемъ способѣ.

По оси канала (рис. 181) была съ помощью топоровъ сдѣлана во льду траншея, а кромѣ нея еще двѣ параллельныхъ траншеи на разстояніи 3 метра отъ первой, одна справа, другая слѣва. Оторванные такимъ образомъ отъ общей массы двѣ полосы льда были разрѣзаны поперечными траншеями и раздѣлены на квадратные куски размеромъ 3 метра на 3 метра. Эти куски были подтолкнуты подъ ледъ, оставшійся по краямъ, въ положеніе, указанное на рисункѣ; такимъ образомъ былъ сдѣланъ каналъ совершенно открытый на 6 метровъ ширины. Благодаря большому количеству рабочей силы операція была выполнена очень быстро.

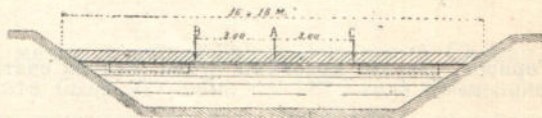


Рис. 181.

Когда дѣло идетъ только о сломкѣ льда, то можно пользоваться порохомъ или динамитомъ. Этотъ способъ, правда, представляетъ довольно серьезныя неудобства, помимо той опасности, съ которой связано примѣненіе взрывчатыхъ веществъ, а именно, онъ приводитъ къ умерщвленію рыбы, находящейся въ каналѣ; хотя этотъ вопросъ и не представляетъ большой важности, но понятно, что этотъ способъ нужно примѣнять лишь въ исключительныхъ случаяхъ, когда нельзя обойтись инымъ способомъ.

Наконецъ, лучшимъ рѣшеніемъ вопроса въ тѣхъ странахъ или на тѣхъ путяхъ, гдѣ сломка льда должна производиться постоянно, является примѣненіе ледоколовъ.

Когда ледъ тонокъ, то достаточно пустить въ дѣло простое небольшое судно. Его выводятъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ предварительно убранъ ледъ; затѣмъ его съ достаточной силой тянутъ съ двухъ береговъ въ направленіи того канала который нужно пробить, направляя его носовую часть на ледъ, причемъ кормовая часть остается въ водѣ, такъ что весь вѣсъ судна наваливается на кору льда и ломаетъ ее, подвигаясь впередъ. Люди находящіеся на суднѣ могутъ успѣшно содѣйствовать этой операціи, сообщая судну боковую качку, вслѣдствіе которой вся тяжесть переваливается то на одну, то на другую сторону и облегчаетъ сломку. Конечно, низъ судна долженъ быть солидно защищенъ листовымъ желѣзомъ, иначе края льдинъ его очень быстро привели бы къ разрушенію.



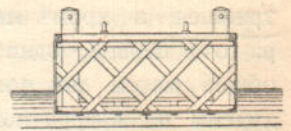
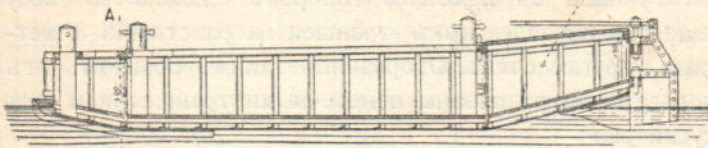
При болѣе толстомъ лѣдѣ корпусъ долженъ быть болѣе тяжелымъ и болѣе сильнымъ, безъ сильнаго увеличенія размѣровъ. Въ этихъ случаяхъ приходится устраивать весь корпусъ металлическимъ. На рисункѣ 182-мъ изображена конструкция ледокола, который былъ примѣненъ во время той же зимы 1879—1880 г. при открытіи прохода въ каналѣ отъ l'Aisne къ Марнѣ.

Это судно вѣсило въ общемъ 5 тоннъ, включая балластъ и стоило 2800 франковъ; при употребленіи его пришлось воспользоваться тягою 12 лошадей, двигавшихся со скоростью около 4 километровъ въ часъ. Обшивка имѣла толщину 5 миллиметровъ, и нижняя часть была защищена сильной арматурой. Лдины, которыя этотъ ледоколъ ломалъ, достигали 0,30 метровъ толщины.

Продольный разрѣзъ.

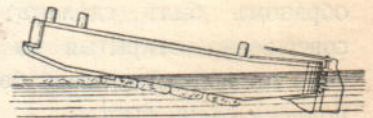
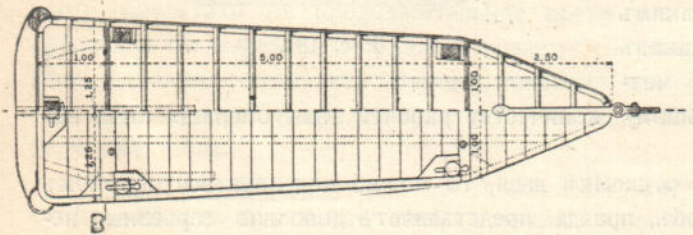
Камера, въ которой во время работы нагружается 2200 kg. чугуна, болванокъ.

Разрѣзъ по АВ.



Горизонт. разрѣзъ половины судна (палуба снята).

Положеніе судна при лѣдѣ толщ. въ 0,20 м.



Планъ половины судна.

Рис. 182. Ледоколъ на каналѣ отъ l'Aisne къ Марнѣ.

Тяга на французскихъ каналахъ. Общія соображенія.—Задача о тягѣ на каналахъ далеко не такъ удачно и полно разрѣшена, какъ на рѣкахъ канализированныхъ, или находящихся въ свободномъ состояніи. Однако хотя до сихъ поръ еще часто примѣняются самые примитивные способы, много усилій уже употреблено, въ особенности въ послѣднее время, къ примѣненію механическихъ способовъ тяги на каналахъ; рассмотримъ практикующіеся въ настоящее время способы тяги.

Бичевая тяга при помощи людей.—Этотъ какъ бы варварскій способъ весьма употребителенъ еще на каналахъ центральной Франціи; причину тому его дешевизна. Судно тянется двумя людьми, изъ которыхъ одинъ обыкновенно помѣщается на одномъ берегу, а другой—на другомъ. Такимъ образомъ ось судна остается параллельной оси канала; дѣйствіе рулемъ оказывается ненужнымъ, его снимаютъ и нѣтъ также надобности въ экипажѣ на борту судна. Такая бичевая тяга представляетъ очнь тяжелый трудъ, который невозможно было бы вынести, если бы черезъ короткіе интервалы не представлялся отдыхъ.



Скорость рѣдко достигаетъ одного километра въ часъ (0,28 м. въ секунду), а принимая во вниманіе потерю времени въ шлюзахъ, нельзя рассчитывать на проходъ болѣе, чѣмъ 8 или 10 километр. въ день. Стоимость тяги на тонну-километръ отъ 5 до 7 тысячныхъ франка.

Смѣшанная тяга.—На каналѣ du Berri, на которомъ шлюзы очень узки, исключительно пользуются небольшими судами, шириною всего 2,50 метра и вмѣстимостью отъ 50 до 60 тоннъ. На борту каждого судна имѣется осель, который и тянетъ судно, и которому въ случаѣ нужды помогаетъ судовщикъ и его семейство. При столь примитивномъ устройствѣ, однако, эти суда конкурируютъ съ большими судами не только на каналахъ, соприкасающихся съ каналомъ du Berri, но также и на рѣкахъ въ бассейнѣ Сены. Стоимость этой смѣшанной бичевой тяги почти та же самая, что для тяги людьми, но дневной пробѣгъ болѣе чѣмъ вдвое, такъ какъ эти суда, благодаря малому поперечному сѣченію, могутъ безъ особыхъ усилій довольно быстро двигаться въ каналахъ средней ширины.

Тяга лошадьми съ подставами.—Характеръ тяги ясно опредѣляется самимъ названіемъ; она примѣнялась, и теперь еще примѣняется, главнымъ образомъ, на судоходныхъ путяхъ между Бельгіей и Парижемъ, а также на сѣверѣ и въ Па-де-Кале.

На Уазѣ и на боковомъ каналѣ между Conflans-Sainte-Honorine à Chauny на протяженіи 138 километровъ тяга эта была устроена съ 1875 года промышленниками Бр. Паво. Станціи для смѣнъ лошадей, въ количествѣ 13, были расположены по близости шлюзовъ, а также въ крайнихъ точкахъ пути. Бр. Паво были обезпечены постоянными кліентами, несмотря на конкуренцію обыкновенной тяги, въ силу контрактовъ, по которымъ судовщики обязывались въ теченіе 3 до 5 лѣтъ пользоваться исключительно ихъ лошадьми по опредѣленному тарифу. На Уазѣ развитіе буксирнаго пароходства уничтожило тягу съ подставами, однако послѣдняя и до сихъ поръ имѣется на боковомъ каналѣ между Janville и Chauny. Средній тарифъ:

Для груженого судна:	{	внизъ 0,75 фран. за километръ
		вверхъ 0,80   »   »   »

За порожнее судно по 0,50 фран. за километръ.

За два порожнихъ судна, идущихъ внизъ, 0,75 фр. за километръ.

Этотъ тарифъ, если взять легкое судно съ полной нагрузкой въ среднемъ 280 тоннъ, соотвѣтствуетъ 2,7 тысячнымъ франка внизъ по теченію и 2,9 вверхъ за тонну-километръ.

На l'Escaut, на 2-хъ сторонахъ канала de St.-Quentin, а также на каналѣ De la Sensée отъ Condé до Chauny съ одной стороны и до Courchelettes съ другой стороны на общемъ протяженіи 146 километровъ тяга съ подставами устроена регулярнымъ образомъ государствомъ на основаніи декрета 19 іюня 1875 года. Каждый изъ этихъ путей раздѣленъ на участки, эксплуатація которыхъ сдается на 6 лѣтъ подрядчику на основаніи договора, обязательнаго для всѣхъ.

Организованная такимъ образомъ тяга обязательна для всѣхъ груженныхъ судовъ, идущихъ какъ вверхъ, такъ и внизъ, за исключеніемъ пароходовъ; она не обязательна для порожнихъ судовъ. Администрація сохраняетъ за собой пра-



во допустить и другой способ тяги безъ лошадей, но до сихъ поръ на этихъ путяхъ она не пользовалась этимъ правомъ; съ другой стороны и судовщики лишь въ рѣдкихъ случаяхъ пользуются правомъ тяги своими средствами порожнихъ судовъ; такимъ образомъ на дѣлѣ подрядчики по тягѣ пользуются полной монополіей по тягѣ всѣхъ судовъ, за исключеніемъ пароходовъ.

Эти предприниматели обязуются выполнять тягу безъ всякой задержки со скоростью 2 километра въ 1 часъ (0,56 м. въ секунду). Они также обязуются при входѣ и выходѣ изъ шлюзовъ давать дополнительныхъ лошадей въ количествѣ, достаточномъ для того, чтобы ускорить эту двойную операцію. Таксы за тягу назначены за тонну-километръ по особому тарифу съ вычетомъ нѣкоторой скидки. Приложенная таблица даетъ понятіе о теперешнихъ цѣнахъ.

Стоимость тяги подставами (декретъ 19 іюня 1875 г.).	l'Escalut.		Каналь de St.-Quentin.	Каналь de Sensée.
	1 секція.	2 секція.		
Вверхъ:	фран.	фран.	фран.	фран.
На тонну-километръ возможной вмѣстимости . . . . .	0,001827	0,001744	0,001314	0,001466
На тонну-километръ дѣйствитель- ной вмѣстимости . . . . .	0,003045	0,002740	0,002627	0,001954
Внизъ:				
На тонну-километръ возможной вмѣстимости . . . . .	0,001218	0,001163	0,001314	0,001221
На тонну-километръ дѣйствитель- ной вмѣстимости . . . . .	0,001827	0,001744	0,001955	0,001710

Для судна съ полной нагрузкой эти цѣны на тонну-километръ мѣняются— для судовъ, идущихъ вверхъ, отъ 3,4 до 4,9 тысячныхъ, а внизъ — отъ 2,9 до 3,3 тысячныхъ

Эта организація даетъ хорошіе результаты и позволяетъ обслуживать грузооборотъ, который на каналѣ de St-Quentin въ 1901 году доходилъ до 6 милл. тоннъ. Здѣсь вполне оправдывается ограниченіе въ свободѣ судоходства въ виду необходимости избѣжать всякой задержки на судоходныхъ путяхъ со столь исключительно большимъ движеніемъ и предупредить скопленія судовъ, которыя могли бы повредить общимъ интересамъ; оно является, такимъ образомъ, необходимымъ въ общественныхъ интересахъ.

Спеціальныя виды примѣненія механической тяги. — Во Франціи уже давно механическая тяга на искусственныхъ судоходныхъ путяхъ примѣнялась самимъ государствомъ въ тѣхъ частяхъ каналовъ, гдѣ судоходство встрѣчается съ особыми препятствіями, а именно на раздѣльныхъ бьефахъ съ подземными каналами.

Эти подземные каналы одиночного пути имѣютъ спереди и за собою участки каналовъ часто также на одинъ путь. Суда по нимъ могутъ проходить только по очередно и только въ одномъ или другомъ направленіи; такимъ образомъ является необходимымъ регулированіе прохода судовъ въ видѣ каравановъ.



Съ другой стороны въ этихъ частяхъ канала, благодаря суженному сѣченію тяга судовъ требуетъ значительныхъ усилій, причемъ отсутствіе широкихъ банкетовъ дѣлаетъ бечевую тягу весьма затруднительной; является необходимымъ примѣненіе механическихъ средствъ. Приведемъ нѣсколько интересныхъ примѣровъ различныхъ устройствъ.

Въ раздѣльномъ бьефѣ канала de St-Quentin на протяженіи 18,80 километра, заключающихъ въ себѣ 2 подземныхъ канала общей длиной 6,768 километра, Государство эксплуатируетъ хозяйственнымъ способомъ туерные буксиры съ погруженной въ воду цѣпью, пользованіе которыми обязательно для всѣхъ судовъ и обезпечено тремя буксирами съ цѣпными барабанами.

Грузооборотъ на каналѣ de St-Quentin очень значителенъ, такъ въ 1901 году тоннажъ доходилъ до 6.000.000 тоннъ а средній тоннажъ равенъ 4.544.500.

Караваны, буксируемые черезъ раздѣльный бьефъ, включаютъ по 15—25 судовъ, иногда даже до 35; ихъ длина измѣняется отъ 800 до 1300 и даже до 1800 метровъ, ихъ тоннажъ (полезная нагрузка) въ направленіи къ Парижу равенъ отъ 3.200 до 6.200 и даже 10.000 тоннъ. Въ кривыхъ небольшого радіуса эти длинные караваны направляютъ эстакадами, расположенными со стороны вогнутого берега, которыя на уровнѣ воды имѣютъ плоскость скольженія, расположенную по отвѣсу надъ основаніемъ откосовъ.

Такса, назначенная для судовъ за эту тягу, весьма низка; она разсчитана по 3 тысячныхъ фр. на тонну-километръ полезной нагрузки; порожнія суда буксируются даромъ. Тѣмъ не менѣе эксплуатація туеровъ даетъ Государству большой доходъ благодаря громадному грузообороту. Стоимость тяги почти не превосходитъ 1 тысячной франка на тонну-километръ.

Эта организація постепенно преобразуется благодаря замѣнѣ паровыхъ туеровъ, находящихся на службѣ въ настоящее время,—электрическими. И дѣйствительно, паровые туеры представляютъ серьезные недостатки. Проходъ длиннаго подземнаго канала длиной 5.670 метровъ продолжается нѣсколько часовъ; вслѣдствіе малаго сѣченія канала скорость весьма мала отъ 1.200 до 1.500 метровъ въ часъ, самое большее; иногда даже приходится дѣлать остановку, чтобы пропустить воду, поднявшуюся передъ караваномъ и возстановить прежній уровень ея. При такихъ условіяхъ выпускъ дыма является весьма непріятнымъ и даже опаснымъ; люди очень часто заболѣваютъ и, хотя никогда не было смертныхъ случаевъ, но часто приходилось констатировать начальные признаки удушенія. Примѣненіе электричества является серьезнымъ улучшеніемъ.

Въ раздѣльномъ бьефѣ de Mauvages канала между Марной и Рейномъ также устроена туерная тяга съ погруженною цѣпью, на протяженіи 7,300 километра, изъ которыхъ 4,877 подъ землей. Недостатокъ, указанный выше, здѣсь избѣгается примѣненіемъ машинъ системы Франка, идущихъ безъ огня и дѣйствующихъ при помощи паровыхъ резервуаровъ, помѣщенныхъ на туерахъ, заключающихъ паръ высокаго давленія, нагнетаемый внѣ подземнаго канала.

Пользованіе туерами является обязательнымъ для всѣхъ судовъ. Однако такса 5 тысячныхъ франка за тонну-километръ едва покрываетъ расходы, такъ какъ здѣсь грузооборотъ значительно ниже, чѣмъ на каналѣ de St-Quentin (средній тоннажъ на каналѣ между Марной и Рейномъ въ 1901 году былъ 1.301.199 тоннъ).

Система Франка была примѣнена также на раздѣльномъ бьефѣ Бур-



гундскаго канала, гдѣ туерная тяга съ погруженной цѣпью устроена на протяженіи 5,700 километра, изъ которыхъ 5,200 въ туннель, или въ каналахъ одиночнаго пути (подземный каналъ de Pouilly). Но, когда паровые туеры износились, то Главнымъ Инженеромъ Galliot была предложена весьма интересная электрическая система.

Раздѣльный бьефъ Бургундскаго канала долженъ постоянно давать большое количество воды для питанія двухъ каналовъ; на обоихъ концахъ бьефа имѣются напоры и этими напорами воспользовались для установки турбинъ, которыя приводятъ въ движеніе электрическія машины.

При помощи подвѣсныхъ проводовъ, идущихъ вдоль канала, и троллея электрическая энергія передается приѣмнику, установленному на борту туера, а послѣдній приводитъ въ движеніе шкивъ, черезъ который проходитъ туерная цѣпь. Электричество въ то же время служитъ для освѣщенія туера, внутренности подземнаго канала и подходовъ къ нему.

Электрическая туерная тяга начала службу съ 15 августа 1893 года и съ тѣхъ поръ она работаетъ безъ перерыва самымъ удовлетворительнымъ образомъ. Такса, довольно высокая, назначена, минимумъ: за порожнія суда 1,50 франка, за груженія суда 1,50 франка за корпусъ его и по 0,05 фр. за тонну-нагрузки; за плоты по 0,05 фр. за куб. метръ. Въ случаѣ прохода судовъ ночью эта стоимость увеличивается, и въ нѣкоторыхъ обстоятельствахъ допускается частное соглашеніе относительно цѣнъ. Тѣмъ не менѣе эксплуатація не оправдываетъ себя вслѣдствіе слабаго грузооборота на этомъ каналѣ (средній тоннажъ въ 1901 г. былъ 215.696 тоннъ).

Въ послѣднее время на раздѣльномъ бьефѣ канала между l'Aisne и Марной на протяженіи 2,500 километра, изъ которыхъ 2,300 километра подъ землей, устроена цѣпная тяга, детали которой мы дадимъ дальше (стр. 234). Тарифъ равенъ 0,02 фр. за тонну нагрузки за все протяженіе пробѣга 2,500 километра; цѣпная тяга для порожнихъ судовъ безплатна; пароходы должны пользоваться своими двигателями. При грузооборотѣ 1.450.000 тоннъ въ годъ эксплуатація покрываетъ расходы.

Упомянемъ еще о раздѣльномъ бьефѣ канала du Nivernais длиной 4,500 метровъ, изъ которыхъ 3,700 приходится на 3 подземныхъ канала. Съ 1 декабря 1901 г. тамъ дѣйствуетъ туерная тяга съ погруженною цѣпью. Оригинальность этого устройства заключается въ примѣненіи для туера керосинового двигателя; и дѣйствительно, нужно было возможно упростить это устройство, имѣя въ виду, что грузооборотъ на раздѣльномъ бьефѣ канала du Nivernais весьма слабъ (55.000 тоннъ въ годъ).

Тарифъ слѣдующій: груженія суда за корпусъ въ 100 тоннъ вмѣстимости—самое меньшее 0,50 франка, при вмѣстимости больше 100 тоннъ—1 фр., за тонну нагрузки 0,04 фр.; за плоты 0,04 фр. за кубическій метръ. Порожнія суда буксируются даромъ. Конечно, эксплуатація даетъ дефицитъ, но этотъ дефицитъ ниже того, который предполагался.

Общія условія задачи о механической тягѣ на каналахъ. — Какъ ни интересны упомянутыя выше устройства, они однако не могутъ быть разсматриваемы, какъ дающія общее рѣшеніе задачи о механической тягѣ на каналахъ въ нормальныхъ условіяхъ, такъ какъ они соотвѣтствуютъ совершенно



спеціальнымъ условіямъ, а именно движенію каравановъ судовъ по очередно въ одномъ и другомъ направленіи.

На французскихъ каналахъ, гдѣ имѣется много шлюзовъ, которые, вообще говоря, могутъ принять заразъ только одно судно, какъ за правило нужно считать судоходство отдѣльными судами, идущими непрерывно. Съ другой стороны въ этихъ каналахъ отношеніе живого сѣченія къ площади погруженной части судовъ не велико; поэтому въ нихъ скорость приходится значительно уменьшать, чтобы не вызвать слишкомъ большихъ сопротивленій; скорость въ 0,75 метра въ секунду (2,700 километра въ часъ) можно считать за предѣлъ, который практически не слѣдуетъ переходить. При такихъ условіяхъ тяга, которую требуетъ каждое судно, весьма не велика и трудность задачи заключается въ томъ, чтобы экономично получить эту часть движущей силы.

Сначала задавались вопросомъ, нельзя ли примѣнить туерную тягу при слѣдующихъ условіяхъ. Каждое судно должно быть обращено во временный туеръ помощью установки на борту его туернаго механизма съ двигателемъ, причемъ цѣпь должна быть уложена средствами Государства и составлять какъ бы неотъемлемую принадлежность канала.

Первоначальная идея подобнаго рѣшенія задачи принадлежитъ Букье, система котораго, дававшая возможность очень легко подымать и опускать цѣпь, дѣлала возможными скрещенія. Каждое судно должно было при своемъ входѣ въ каналъ принять, а по выходѣ оставить туерный механизмъ и локомобиль для приведенія его въ движеніе. Но эта система осталась въ состояніи проекта; необходимость устанавливать на борту локомобиль со всѣми его принадлежностями очевидно была мало практична.

Магнитный шкивъ даетъ возможность съ такой же легкостью дѣлать скрещенія, какъ и обыкновенный шкивъ. Бовэ воспользовался идеей Букье, но съ значительнымъ видоизмѣненіемъ. вмѣсто того, чтобы приводить въ движеніе туерный аппаратъ паровой машиной, стоящей на борту, онъ заставлялъ его дѣйствовать при помощи <sup>динамо</sup> динамо, получавшей электрическую энергію отъ линіи, проведенной вдоль канала. Такимъ образомъ аппараты, устанавливавшіеся временно на суднѣ, и обращеніе съ этими аппаратами оказывались очень простыми. Въ этомъ направленіи были сдѣланы интересные опыты въ 1894 году на каналѣ St-Denis, но они остались безрезультатными.

Вмѣсто того, чтобы преобразовывать временно каждое судно въ туеръ, нѣкоторые инженеры, и среди нихъ Главный Инженеръ Galliot придумали обращать ихъ во временные винтовые двигатели. Для этой цѣли вмѣсто обыкновеннаго своего руля каждое судно получало спеціальныи руль, въ которомъ былъ устроенъ небольшой винтъ, приводимый въ движеніе электрической энергіей, которая, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, получалась отъ линіи, идущей вдоль канала. Но и здѣсь мы можемъ указать только на опыты, а именно эти опыты производились на Бургундскомъ каналѣ зимой 1895 — 1896 г. При этой системѣ избѣгаются расходы на установку и на содержаніе цѣпи, но механическая отдача винта весьма мала, главнымъ образомъ благодаря невыгоднымъ формамъ судовъ.

Можно избѣгнуть послѣдней причины уменьшенія отдачи, примѣняя спеціальныя небольшіе буксиры, винтъ которыхъ приводился бы въ движеніе элек-



тричествомъ, какъ и въ предыдущихъ случаяхъ. Такъ и было сдѣлано на каналѣ Шарлеруа у Брюсселя.

Тяга паровыми локомотивами.—Были попытки устроить тягу судовъ при помощи паровыхъ локомотивовъ, обращающихся по желѣзному пути, уложенному на бечевникѣ; эти опыты не имѣли успѣха. Они были произведены Larmanjat на Бургундскомъ каналѣ въ силу декрета 18 іюня 1873 года. Этотъ каналъ имѣетъ умѣренный грузооборотъ (въ 1901 г. 215696 тоннъ на всемъ протяженіи) и на всей длинѣ его въ 242 километра имѣется не менѣе 189 шлюзовъ. Суда должны были буксироваться отдѣльно небольшими локомотивами специальной системы, вѣсившими только 4 тонны. Въ системѣ Larmanjat путь имѣетъ одинъ только рельсъ, по которому катятся два направляющихъ колеса машины; два другихъ колеса движущихъ скользятъ по шоссе и отъ него заимствуютъ достаточную силу сцепленія. Это предпріятіе скоро потерпѣло неудачу, и причина этого столько же техническая, сколько и финансовая.

Другая система тяги паровыми локомотивами дѣйствовала въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ на каналахъ de Neuffossé, d'Aire et de la Deule между шлюзами des Fontinettes около St-Omer'a и подходами къ Douai. На всемъ этомъ протяженіи грузооборотъ значителенъ, и имѣется только одинъ шлюзъ. Кромѣ того въ это время судоподъемникъ еще не былъ устроенъ; проходъ черезъ шлюзы des Fontinettes совершался по очереди; суда, шедшія вверхъ, могли проходить въ понедѣльникъ, среду, пятницу и воскресенье; другіе дни недѣли были предоставлены судамъ, шедшимъ внизъ. Съ верховой стороны шлюзовъ скапливалась масса судовъ, ожидавшихъ или своей очереди для прохода, или механической тяги для продолженія своего пути. При такихъ условіяхъ безъ всякихъ неудобствъ суда могли буксироваться караванами, и это давало возможность вполне использовать силу локомотивовъ.

Путь былъ одиночный шириной 1 метръ. Локомотивы — тендеры съ четырьмя спаренными колесами, вѣсившіе 11 тоннъ въ порожнемъ состояніи и 14 тоннъ въ груженномъ состояніи имѣли особое устройство, которое давало возможность развивать достаточную силу тяги при очень небольшой скорости хода (1500 метровъ въ часъ). Съ технической точки зрѣнія былъ полный успѣхъ, но его не было съ финансовой точки зрѣнія, несмотря на всѣ упомянутыя весьма благопріятныя обстоятельства. Этой системѣ приходилось конкурировать съ обыкновенной тягой лошадьми и кромѣ того съ туерными буксирами, ходившими между Pont-à-Vendin и подходами къ Douai, на длинѣ 18 километровъ. Стоимость тяги въ 1885 году была 3,4 тысячныхъ франка на тонну-километръ на всемъ протяженіи пробѣга; она была понижена до 2,7 тысячныхъ на секціи между Pont-a-Vendin и Douai. Эти фрахты повидимому не покрывали расходовъ, такъ какъ общество тяги ликвидировало свои дѣла и прекратило дѣйствіе съ 1 февраля 1886 года. Кромѣ того не слѣдуетъ еще упускать изъ виду, что въ данномъ случаѣ рѣшеніе не вполне соотвѣтствовало общимъ условіямъ задачи, такъ какъ судоходство происходило караванами.

Цѣпная тяга.—Въ существенныхъ чертахъ, цѣпная тяга заключается въ примѣненіи безконечнаго каната, приводимаго въ движеніе постояннымъ двигателемъ. Двѣ вѣтви каната движутся по шкивамъ одинъ съ правой стороны, а другой съ лѣвой стороны канала. Суда по отдѣльности прицѣпляются къ



одной, либо къ другой изъ этихъ вѣтвей, соотвѣтственно направленію ихъ хода; такимъ образомъ канатъ одновременно тянетъ суда и вверхъ и внизъ (рис. 183).

Принципъ простъ, и идея соблазнительна, но когда приходится приводить ее въ исполненіе, то сталкиваются съ многими затрудненіями, которыя вкратцѣ и перечислимъ.

1) Благодаря косому направленію тяги, суда постоянно стремятся сорвать канатъ со шкивовъ, которые поддерживаютъ или направляютъ его, и чтобы избѣжать схода канатовъ со шкива приходится его на этихъ шкивахъ особымъ образомъ укрѣплять:

2) Каждый разъ, когда бичева, которой зацѣпляются суда, подходит къ шкиву, она попадаетъ въ желобъ его вмѣстѣ съ канатомъ. Но канатъ долженъ оставаться на шкивѣ, а бичева должна автоматически освобождаться; такимъ образомъ для нея долженъ быть оставленъ свободнымъ выходъ, который долженъ быть закрытъ для каната.

3) Канатъ находится постоянно въ движеніи на большей или меньшей высотѣ надъ бичевникомъ, отсюда нѣкоторыя затрудненія для прицѣпки къ нему; а между тѣмъ необходимо, чтобы способъ прицѣпки былъ простымъ, быстрымъ и легкимъ для всѣхъ судовщиковъ.

4) Какъ только сдѣлана прицѣпка, нужно, чтобы канатъ не сразу потянулъ бичеву, а слѣдовательно и судно: нужно, чтобы судовщикъ имѣлъ время до отправленія въ путь попасть на судно.

5) Тяга вначалѣ должна быть постепенной; и освобожденіе судна должно происходить постепенно.

6) Въ пути необходимо, чтобы каждый моментъ судовщикъ, оставаясь на борту судна, могъ по желанію остановить ходъ своего судна и для этого снять прицѣпку.

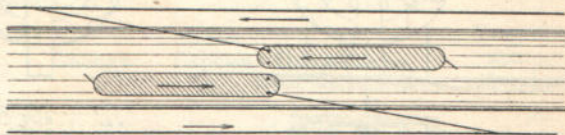


Рис. 183.

Таковы общія условія задачи. При примѣненіи системы является еще много новыхъ условій. Берега канала благодаря суженіямъ у мостовъ и уступамъ на шлюзахъ представляютъ и въ планѣ и въ профилѣ весьма капризные формы, по которымъ долженъ слѣдовать канатъ. Направленіе каната вмѣсто двухъ параллельныхъ прямыхъ линій представляетъ ломанную линію, выступающую то въ одну, то въ другую сторону; отсюда ясны тѣ затрудненія, съ которыми связано удержаніе каната на шкивахъ. Наконецъ приходится считаться съ винтовымъ движеніемъ каната, которое всегда сопровождаетъ его поступательное движеніе и которое всегда представляло одно изъ самыхъ серьезныхъ затрудненій для изобрѣтателей.

Первые опыты цѣпной тяги относятся къ 1862 году, но мы не будемъ за- бирать такъ далеко и укажемъ только, что на всемірной выставкѣ 1889 года въ Парижѣ инженеры могли видѣть образцы этого рода механической тяги, устроенные, въ видѣ опыта,—одинъ на каналѣ de St-Quentin Oriolle'емъ, а другой на каналахъ St-Maur и St-Maurice Главнымъ Инспекторомъ Maurice'омъ Lévy. Насколько намъ извѣстно, только система Maurice'a Lévy была осуществлена на практикѣ, и мы здѣсь будемъ говорить только о ней; мы сообщимъ нѣсколько



подробностей о примѣненіи ея для тяги судовъ на раздѣльномъ бьефѣ канала между l'Aisne и Марной.

Этотъ раздѣльный бьефъ имѣетъ общую длину 2600 метровъ, изъ которыхъ 2300 въ туннелѣ (подземный каналъ Mont-de-Billy). Канатъ протянуть приблизительно на 150 метровъ далѣе каждаго изъ концовъ подземнаго канала, такъ что общая длина его равна 2600 метровъ. Этотъ канатъ весь металлическій и имѣетъ діаметръ 0,03 метра, вѣситъ 3,7 килограмма на погонный метръ и можетъ выдержать усиліе 55 тоннъ. Онъ подвергается натяженію отъ противовѣса въ 10 тоннъ, отъ котораго среднее натяженіе въ каждой вѣтви равно 5 тоннъ, что соотвѣтствуетъ постоянному напряженію въ проволокахъ каната около 15 килограммовъ на квадратный миллиметръ. Такое сильное напряженіе составляетъ отличительное свойство системы Maurice'a Levy; благодаря ему, какъ

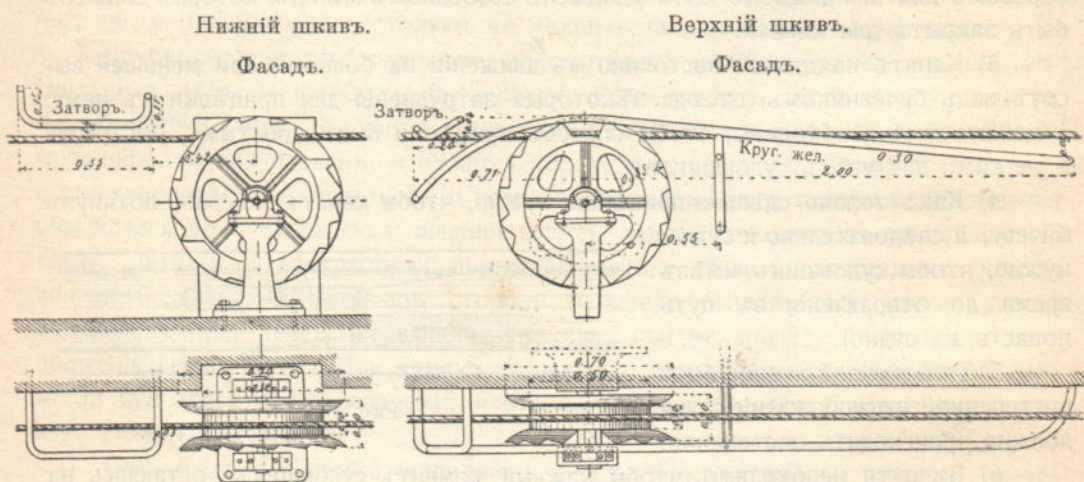


Рис. 184. Цѣпная тяга.—Поддерживающіе шкивы.—Планъ.

горизонтальныя, такъ и вертикальныя колебанія каната удерживаются въ тѣсныхъ границахъ, а также предупреждаются и сходы каната со шкивовъ. Внѣшнія усилія, косое неправильное направленіе прицѣпокъ являются, такъ сказать, пренебрегаемыми величинами въ сравненіи съ постояннымъ натяженіемъ.

Двѣ вѣтви каната расположены одна надъ другой съ одной стороны канала, а именно со стороны бичевника; внѣ туннеля онѣ находятся въ одной вертикальной плоскости. Внутри туннеля шкивы вдѣланы въ стѣнку и въ сводъ, чтобы оставить свободнымъ проходъ для лошадей по бичевнику, такъ что верхняя вѣтвь, которая расположена на 2,80 метра надъ площадкой, находится нѣсколько впереди другой вѣтви.

Оставляя въ сторонѣ спеціальныя шкивы для поворота и для перемѣны движенія, мы разсмотримъ только устройство поддерживающихъ шкивовъ (рис. 184); они всѣ имѣютъ діаметръ 0,50 метра по желобу. Мы уже указывали, какимъ образомъ они вдѣланы въ каменную кладку внутри туннеля; внѣ туннеля они поддерживаются солидными металлическими стойками, изъ которыхъ каждая задѣлана въ бетонный массивъ; наружные края ихъ снабжены зубцами, для того, чтобы облегчить освобожденіе бичевы, прицѣпляющей судно.



Такъ какъ нижняя вѣтвь каната находится ниже, чѣмъ точка зацѣпленія на судахъ—бичева не попадаетъ въ нижніе шкивы, и эти шкивы снабжены только затворами, предупреждающими поднятіе каната. На верхнихъ шкивахъ внѣ туннеля для освобожденія прицѣпляющей бичевы достаточно однихъ зубцовъ; но внутри подземнаго канала эти прикрѣпляющія бичевы составляютъ очень острый уголъ съ канатомъ, попадаютъ въ шкивы и, чтобы ихъ освободить, приходится ихъ подымать при помощи направляющихъ механизмовъ, задѣланныхъ въ каменную кладку.

Способъ прицѣпки бичевы къ канату является въ системѣ однимъ изъ наиболѣе деликатныхъ пунктовъ въ особенности вслѣдствіе винтового движенія. Дѣйствительно, при этой прицѣпкѣ необходимо, чтобы она была достаточно солидна, чтобы выдержать усиліе тяги и въ то же время была бы настолько подвижна на канатѣ, чтобы не могла слѣдовать его вращательному движенію. Необходимо также избѣгать всякаго давленія на канатъ, которое могло бы его деформировать, а, слѣдовательно, привести его къ быстрому разрушенію. Выходъ изъ этого, придуманный Maurice'омъ Lévy и примѣненный на Mont-de-Billy весьма простой и въ то же время вполне дѣйствительный: завинчиваніе бичевы почти совершенно предложено.

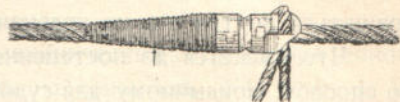


Рис. 185.

На канатъ черезъ правильные промежутки (въ данномъ случаѣ черезъ каждые 30 метровъ) устроены неподвижные упоры; вокругъ каната на 0,20 метровъ длины навивается шнурокъ, обматанный смѣсью гудрона со смолой такимъ образомъ получается валикъ, называемый *transfil*, достаточно солидный; на него опирается стальное кольцо, имѣющее внутренній діаметръ, равный діаметру каната, и составленное изъ двухъ частей, соединенныхъ чеками такъ, чтобы ихъ легко можно было снимать (рис. 185). Иногда, чтобы увеличить подвижность прицѣпки, присоединяютъ еще второе кольцо, которое только соприкасается съ первымъ по хорошо отполированной плоскости; этотъ случай и изображенъ на рисункѣ.

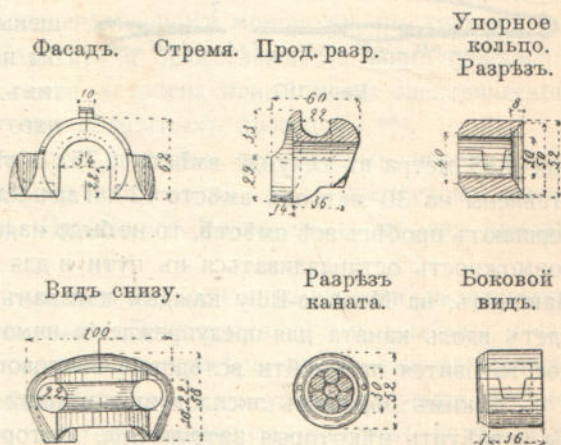


Рис. 186.

Съ другой стороны (рис. 186) располагаютъ стремени съ внутреннимъ діаметромъ нѣсколько большимъ, чѣмъ діаметръ каната, которыя могутъ быть наложены на канатъ верхомъ. Каждое стремя имѣетъ полукруглую выемку, которая продолжается въ видѣ двухъ цилиндрическихъ каналовъ, черезъ которые проходитъ прикрѣпляющая бичева (рис. 187).

Оставляя свободными оба конца прикрѣпляющей бичевы, ставятъ стремя



верхомъ на канатъ; затѣмъ уширенный конецъ одной изъ вѣтвей этой веревки вставляютъ въ ушко, сдѣланное въ другой вѣтви; и наконецъ петлю, которой кончается эта вѣтвь, прикрѣпляютъ къ судну. Такимъ образомъ припѣлка устроена, но достаточно небольшого сопротивленія, чтобы помѣшать стремени слѣдовать движенію каната. Только когда стремя упрется въ одинъ изъ упоровъ, описанныхъ выше, оно будетъ увлечено движеніемъ каната вмѣстѣ съ прицѣпляющей бичевой, а слѣдовательно и съ самимъ судномъ. Во всякомъ случаѣ, за исключеніемъ только рѣдкихъ случайностей, стремя слѣдуетъ только за поступательнымъ движеніемъ каната; такъ какъ, какъ мы уже раньше объясняли, его діаметръ нѣсколько больше діаметра каната, то послѣдній можетъ вращаться внутри его, не увлекая его въ своемъ винтовомъ движеніи.

Что касается до постепеннаго пуска въ ходъ судна, то оно легко получается по способу, привычному для судовщиковъ, заключающемуся въ томъ, что причальный канатъ спускаютъ постепенно со шкива, на который онъ намотанъ.

Устройство, принятое на раздѣльномъ бьефѣ канала между l'Aisne и Марной, конечно приспособлено къ данному случаю и отличается въ нѣкоторыхъ пунктахъ отъ того, которое примѣнено на каналахъ St.-Maur и St.-Maurice.

Такъ какъ судоходство совершается караванами поочередно въ одномъ и другомъ направленіи, то скрещенія не бываетъ; поэтому двѣ вѣтви каната помѣщены на одномъ берегу, вмѣсто того чтобы помѣщать ихъ на различныхъ берегахъ. Вслѣдствіе узкаго сѣченія подземнаго канала скорость уменьшена до 0,30



Рис. 187.

или 0,35 метра въ секунду вмѣсто 0,75. Вслѣдствіе этого упоры на канатъ разставлены на 30 метровъ вмѣсто 120. Такъ какъ суда, составляющія караванъ, совершаютъ пробѣгъ всѣ вмѣстѣ, то не было надобности стараться дать судовщикамъ возможность останавливаться въ пути и для этого, по желанію, отцѣпляться \*). Наконецъ, на Mont-de-Billy каждый караванъ сопровождается агентомъ, который идетъ вдоль каната для предупрежденія наматыванія причальной бичевы, если такое готовится произойти вслѣдствіе винтового движенія каната.

Такимъ образомъ эксплуатація цѣпной тяги на свободномъ каналѣ могла бы встрѣтить нѣкоторыя затрудненія, которыя отсутствуютъ на раздѣльномъ бьефѣ канала между l'Aisne и Марной, но опытъ, производившійся на каналахъ St.-Maur и St.-Maurice въ теченіе почти двухъ лѣтъ (съ іюля 1889 по 1 іюня 1891 г.), показалъ, что эти затрудненія можно обойти.

Какъ бы то ни было, цѣпная тяга на каналѣ между l'Aisne и Марной устроена въ 1895—1895 г.г. и съ тѣхъ поръ дѣйствуетъ самымъ удовлетворительнымъ образомъ. При среднемъ тоннажѣ въ 1.450.000 тоннъ въ годъ стоимость на тонну равняется 0,0141 франка за весь пробѣгъ въ 2500 метровъ,

\*) На каналахъ St.-Maur и St.-Maurice для этой цѣли было сдѣлано слѣдующее устройство. Къ верху стремени при помощи specialнаго кольца прикрѣплялась веревочка, конецъ которой послѣ прицѣпки судовщикъ уносилъ на свое судно; достаточно потянуть за эту веревку, чтобы снять съ каната стремя; упоры послѣ этого встрѣчаютъ только причальную бичеву, которая перепрыгиваетъ черезъ нихъ; тяга прекращается; судно останавливается, а судовщикъ, сойдя на бечевникъ, подымаетъ стремя.



т. е. 5,66 тысячныхъ фран. на тонну-километръ. При тоннажѣ 4.000.000 тоннъ, на который рассчитаны эти устройства, эти цѣны соотвѣтственно упали бы до 0,00875 франка и 3,5 тысячныхъ франка.

Тяга электрическими локомотивами. Въ 1895 — 1896 г.г. были произведены первыя опыты на Бургундскомъ каналѣ съ электрической лошадей Главнаго Инженера Galliot. Электрическая лошадь имѣетъ видъ небольшого дорожнаго локомотива, имѣющаго форму трехколеснаго велосипеда, который можетъ двигаться по бичевнику безъ рельсовъ и тянетъ судно, какъ пара лошадей; она заимствуетъ токъ отъ подвижнаго неподвижнаго провода, при помощи катучей телѣжки, соединенной съ пріемникомъ при помощи сгибающагося проводника \*).

Образовалось Общество для эксплуатаціи механической тяги, изобрѣтенной Galliot, и въ 1898 году былъ произведенъ опытъ на каналахъ d'Aire et de la Deule (судоходные пути сѣвера и Па-де-Кале) на длинѣ 26 километровъ. Результаты были признаны настолько удовлетворительными, что Общество рѣшилось ходатайствовать о расширеніи границъ примѣненія этой системы. Въ силу декретовъ, сдѣланныхъ въ іюнѣ 1899 года, электрическая тяга была распространена на общую длину приблизительно 60 километровъ.

Почти въ то же время въ Бельгіи было сдѣлано другое важное примѣненіе того же принципа. Съ 1 января 1899 года Бельгійское Общество электрической тяги на судоходныхъ путяхъ сдѣлалось владѣльцемъ монополіи по тягѣ на части канала малаго сѣченія между Шарлеруа и Брюсселемъ. На длинѣ приблизительно 20 километровъ тяга судовъ была устроена при помощи электрической лошади, получавшей движущую силу отъ подвижныхъ проводовъ \*\*).

Въ томъ же 1899 году электрическій двигатель по рельсамъ системы, разработанной компаніей Сименсъ и Гальске въ Берлинѣ, былъ предметомъ интересныхъ опытовъ, субсидированныхъ Прусскимъ Правительствомъ на каналѣ Finow \*\*\*).

Недостатокъ мѣста намъ не позволяетъ входить въ детали различныхъ предпріятій и попытокъ, упомянутыхъ выше. Приходится дѣлать выборъ и самымъ лучшимъ мы считаемъ привести, въ видѣ примѣра, примѣненіе электрической тяги на каналахъ сѣвера Франціи. Мы впрочемъ удовольствуемся только самыми общими указаніями, отсылая читателя, желающаго получить болѣе полныя свѣдѣнія, также какъ и въ вопросѣ о другихъ предпріятіяхъ, къ докумен-

\*) Принципъ этого прибора былъ указанъ Galliot международному судоходному конгрессу, бывшему въ Гаагѣ въ 1894 г.

\*\*) Электрическая тяга судовъ на каналѣ между Шарлеруа и Брюсселемъ послужила предметомъ интересныхъ сообщеній на международныхъ судоходныхъ конгрессахъ въ Парижѣ въ 1900 г. (отчетъ Главн. Инж. La Rivière и Bourguin) и въ 1902 г. въ Дюссельдорфѣ (сообщеніе Leon Gérard'a, уполномоченнаго отъ Бельгійскаго Общества электрической тяги на судоходныхъ путяхъ).

\*\*\*) Отчетъ объ этомъ опытѣ былъ данъ на международномъ судоходномъ конгрессѣ въ 1900 году въ Парижѣ (докладъ М. Köttgen'a Главнаго Инженера Компаніи Сименсъ и Гальске). Имѣются объ этомъ свѣдѣнія также въ сообщеніи, сдѣланномъ Volkmanн'омъ et Köttgen'омъ на международномъ судоходномъ конгрессѣ въ 1902 г. въ Дюссельдорфѣ подъ заглавіемъ: Mechanischer Schiffszug auf Kanälen.



тамъ, опубликованнымъ различными международными судоходными конгрессами \*).

На основаніи данного разрѣшенія, эксплуатація электрической тяги распространяется на каналъ d'Aire отъ Béthune до Couchelletes, затѣмъ на каналъ Deule, на отвлѣтленіи de la Scarpe вокругъ Douai (52 километра), на каналъ de la Beuvry (3 километра) и на Deule между Bauvin и Don (4 километра), т. е. вмѣстѣ съ вѣтвями къ каменноугольнымъ портамъ, на общую длину почти 60 километровъ (рис. 188).

На основаніи договоровъ эксплуатирующее общество обязалось рассчитать движущую силу своихъ машинъ, свою линію передачи энергіи и число своихъ механизмовъ для тяги такимъ образомъ, чтобы можно было обслуживать макси-

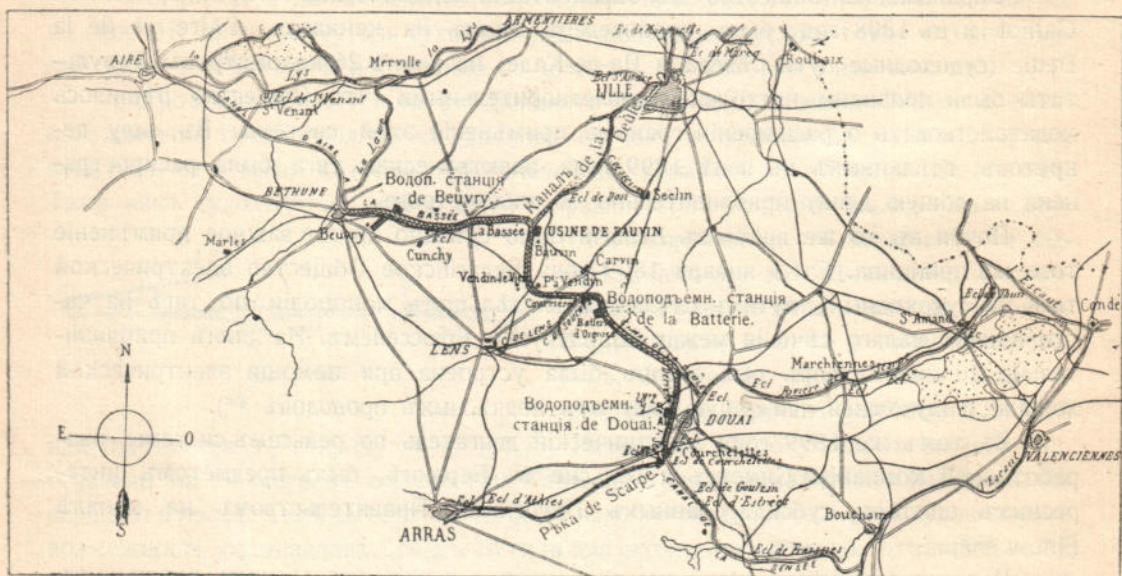


Рис. 188. Электрическая тяга на Сѣверп. каналахъ.—Карта.

мальный грузооборотъ канала, соотвѣтствующій пропускной способности двойныхъ шлюзовъ на отвлѣтленіи Scarpe, т. е. считая 5 судовъ въ часъ въ каждомъ направленіи.

Подвѣсные провода, предназначенныя для передачи электрической энергіи, устроены вдоль бичевниковъ и контръ-бичевниковъ, на которыхъ допущено обращеніе двигателей съ тѣмъ, чтобы на одномъ берегу былъ путь для движенія вверхъ, а на другомъ для движенія внизъ, когда повсюду будетъ обезпечена непрерывность контръ-бичевника.

Во время ночной службы шлюзы и главные искусственныя сооруженія должны быть освѣщены электричествомъ. Скорость хода судовъ должна быть отъ 2½ до 3 километровъ въ часъ (въ среднемъ 0,75 метровъ въ секунду); во

\*) См. доклады Главныхъ Инженеровъ La Rivière и Bourguin на конгрессахъ 1898 и 1900 г. въ Брюсселѣ и Парижѣ, а также сообщеніе Gérard'a, уполномоченнаго отъ Общества электрической тяги на сѣверныхъ каналахъ въ Парижѣ и Дюссельдорфѣ на конгрессѣ въ 1902 г.



всякомъ случаѣ она должна быть уменьшаема до 1,5 или самое большее до 1,8 кил. при встрѣчѣ груженыхъ судовъ и плотовъ, а также при проходѣ крутыхъ поворотовъ и искусственныхъ сооружений.

Тяга остается свободной на всемъ протяженіи указанныхъ каналовъ, и въ силу своего договора Общество не пользуется никакой монополіей и никакой привиллегіей. Кромѣ того, договоръ является временнымъ, и возможна отмѣна его; администрація оставила за собою это право во всякое время, и Общество не имѣетъ права предъявлять какія бы то ни было претензіи.

За то содержаніе шоссе, бичевника и контръ-бичевника остается на обязанности Государства.

Тяга должна производиться Обществомъ на его рискъ и страхъ и днемъ и ночью по цѣнамъ, максимумъ которыхъ—вверхъ по теченію на тонну-километръ какъ для возможной, такъ и для дѣйствительной нагрузки—0,0015 франковъ, внизъ по теченію на тонну-километръ какъ для возможной вмѣстимости такъ и для дѣйствительной—0,0012 франковъ, что для судна съ полной нагрузкой соответствуетъ общей стоимости 3 тысячныхъ франка вверхъ и 2,4 внизъ на тонну - километръ.

Устройства, оказавшіяся необходимыми для выполненія этихъ условій, включаютъ въ себѣ кромѣ ста двигателей, или электрическихъ лошадей, еще машины для производства энергіи, линіи для передачи энергіи и магазины для храненія двигателей.

Машины въ числѣ четырехъ, установлены въ Beuvry на каналѣ d'Aire, затѣмъ въ Bauvin и въ Batterie d'Oignies около Courrières на Deule'ѣ и наконецъ въ Douai на отвѣтвленіи Scarpe'a. Общая сила паровыхъ машинъ равна 1350 лошадей, общая производительность динамо равна 810 килоуаттовъ. Въ Douai, гдѣ расположено Управление Общества, кромѣ того имѣются служебныя бюро при эксплоатаціи, а также помѣщенія для администраціи и центральныя мастерскія для исправленія и ремонта подвижного состава.

Линія для передачи энергіи расположена на 5 метровъ надъ землею на обоихъ берегахъ канала, по краямъ бичевниковъ и контръ-бичевниковъ.

Сараи для двигателей, въ количествѣ 10, расположены черезъ каждые 6 километровъ приблизительно. Въ каждомъ можетъ находиться 10 двигателей. Тамъ же пристроены магазины для храненія наиболѣе существенныхъ частей ихъ, затѣмъ сторожевое бюро съ телефонной станціей.

Приведенныя выше платы за тягу, повидимому, не покрывали расходовъ, такъ какъ они не обезпечили процвѣтанія и даже существованія предпріятія.

Въ началѣ 1903 года Общество электрической тяги на сѣверныхъ каналахъ было замѣнено другимъ обществомъ, называющимся Электрической Сѣверной Компаніей. Максимальный тарифъ за тягу былъ увеличенъ и въ настоящее время онъ слѣдующій: вверхъ по теченію за тонну-километръ возможной вмѣстимости 0,00175 франка, а дѣйствительной нагрузки 0,00225; внизъ по теченію за тонну-километръ вмѣстимости 0,00160 франка, а дѣйствительной нагрузки 0,00200.

Первой заботой новаго общества явилась попытка эксплоатаціи приблизительно на 6 километрахъ длины двигателей новаго типа, обращающихся по рельсамъ (путь шириной 1 метръ, уложенный на бичевникѣ).



Дѣйствительно, изъ различныхъ попытокъ, дѣлавшихся въ Бельгіи и во Франціи, вытекають весьма важныя слѣдствія. Чтобы электрическая лошадь, т. е. электрическій локомотивъ безъ рельсовъ могъ дѣйствовать въ подходящихъ условіяхъ, необходимо имѣть шоссе достаточной ширины, построенное и содержимое съ тѣми же заботами, какъ и лучшее шоссе на дорогахъ, а такая постройка и содержаніе весьма дороги.

Во Франціи Государство, желая поддержать интересные опыты, согласилось взять на себя постройку и содержаніе шоссе на бичевникахъ и контрбичевникахъ сѣверныхъ каналовъ, на хоторыхъ въ настоящее время устроена электрическая тяга; но это является исключительно благопріятнымъ обстоятельствомъ, которое не можетъ существовать слишкомъ долго и не можетъ быть распространено на новыя области. Нормально слѣдуетъ считать, что расходы по устройству и содержанію шоссе должны быть отнесены на предпріятіе по тягѣ. Какъ бы то ни было, а новый максимальный тарифъ оказывается для судна съ полной нагрузкой на тонну—километръ—четыре тысячныхъ франка вверхъ по теченію и три съ половиною внизъ. Эти цѣны весьма близки къ цѣнамъ тяги съ помощью лошадей съ подставами. Дѣйствительно, мы выше указывали, что послѣднія цѣны для судна съ полной нагрузкой измѣняются отъ 3,4 франка до 4,9 тысячныхъ вверхъ и отъ 2,9 до 3,3 тысячныхъ внизъ.

Вышеуказанный тарифъ представляетъ максимальный тарифъ, но если даже дѣйствительныя цѣны только немного меньше этихъ цѣнъ, то и тогда механическая тяга имѣетъ тройное преимущество: большей скорости, большей регулярности и въ особенности приспособляемости, которая даетъ возможность удовлетворять всякимъ нуждамъ и избѣгать скопленія судовъ.

Тяга съ керосиновыми двигателями. Устройство электрической тяги (сооруженіе машинъ для производства энергіи, устройство линіи для передачи силы и т. п. требуетъ большихъ капиталовъ, которые не могутъ быть окуплены на путяхъ съ незначительнымъ движеніемъ. Съ пѣлюю распространить механическую тягу и на такіе пути, изобрѣтатель электрической лошади Galliot придумалъ замѣнить въ буксирахъ электрическій двигатель керосиновымъ.

Попытка интересна, и на нее слѣдовало бы обратить вниманіе, но она не рѣшаетъ серьезнаго вопроса объ устройствѣ и содержаніи шоссе на бичевникахъ, такъ какъ для дорожныхъ локомотивовъ съ керосиновыми двигателями, также какъ и для электрическихъ лошадей, необходимо очень хорошее устройство шоссе.

Тяга на германскихъ каналахъ—Германскіе водяные пути состоятъ преимущественно изъ открытыхъ рѣкъ и лишь въ незначительной части изъ канализованныхъ рѣкъ и каналовъ. До сихъ поръ тамъ не имѣется такой большой сѣти каналовъ, какъ во Франціи, тѣмъ болѣе что старые германскіе каналы представляютъ изъ себя лишь соединительные короткіе пути между открытыми или частью канализованными рѣками. Определенную сѣть образуютъ лишь Маркскіе и Мекленбургскіе водные пути и Эльзась-Лотарингскіе пути съ каналами Сааръ. Для торговли громадное значеніе имѣють водные пути бассейна Marck'a, расположенные между Эльбой и Одеромъ съ центральнымъ пунктомъ Берлиномъ. Къ нимъ принадлежать, напримѣръ, Шпрэ-Одерскій ка-



наль, Тельтовъ каналъ и строящійся новый каналъ Бетлинъ-Гогензастенъ. Изъ построенныхъ уже каналовъ заслуживаютъ также особаго вниманія Эльба-Травскій и Дортмундъ-Эмскій каналы.

Само собой разумѣется, что на болѣе старыхъ, короткихъ соединительныхъ каналахъ, такъ же какъ и во Франціи, не могъ развиваться особый способъ передвиженія судовъ. Движеніе первоначально производилось на каналахъ тѣмъ-же способомъ, какъ и на сосѣднихъ водныхъ путяхъ, т. е. на парусахъ, конной тягой и на шестахъ. Эти способы передвиженія держались еще долго на каналахъ уже послѣ введенія на рѣкахъ паровой тяги, такъ какъ большіе, широкіе съ малой осадкой колесные пароходы, двигавшіе буксирные вozy на большихъ рѣкахъ (Эльба, Одеръ) не могли двигаться по узкимъ каналамъ. Правда на рѣкахъ Havel и Spree постепенно развилось движеніе при помощи небольшихъ винтовыхъ пароходовъ, но они не получили распространенія на старыхъ каналахъ, гдѣ получила особое развитіе конная тяга. Положеніе дѣла измѣнилось лишь послѣ постройки канала Одеръ-Шпрэ и послѣ перестройки Плауэрскаго канала.

Эти водные пути, предназначенные для судовъ съ грузоподъемностью въ 400—600 тоннъ имѣютъ большое живое сѣченіе, и бьефы ихъ достаточно длинны. Здѣсь въ скоромъ времени развилось оживленное движеніе при помощи буксирныхъ пароходовъ, движеніе на парусахъ и людьми совершенно исчезло, а конная тяга, несмотря на хорошо устроенные бичевники, не получила здѣсь сколько нибудь серьезнаго распространенія. Особенно неожиданно развилось движеніе на Шпрэ-Одерскомъ каналѣ. Буксировка судовъ пароходами дала хорошіе результаты и обходилась достаточно дешево, тѣмъ болѣе что судоходный надзоръ на каналахъ разрѣшилъ буксированіе четырехъ судовъ однимъ пароходомъ и не ставилъ никакихъ другихъ ограниченій.

Этотъ примѣръ нашелъ себѣ подражаніе на выстроенныхъ впослѣдствіи большихъ каналахъ, а именно на Дортмундъ-Эмскомъ и Эльба-Травскомъ каналахъ, имѣющихъ такое-же живое сѣченіе и паденіе.

Спустя нѣкоторое время на каналѣ Одеръ-Шпрэ обнаружили значительныя поврежденія, вызванныя движеніемъ буксирныхъ пароходовъ, и прежде всего въ самомъ профилѣ канала. При постройкѣ канала поперечный профиль имѣлъ форму трапеціи съ глубиной воды въ 2 метра, каналъ былъ рассчитанъ на пропускъ судовъ съ осадкой въ 1,75 <sup>саж.</sup> Черезъ нѣсколько лѣтъ допускаемую осадку пришлось уменьшить до 1,65 м., потомъ до 1,60 м. и временно даже до 1,50 м., такъ какъ нормальной глубины воды въ 2 метра нельзя было сохранить на достаточной ширинѣ. Было замѣчено, что подвижное песчаное дно канала вслѣдствіе движенія винтовъ пароходовъ значительно углубилось по срединѣ, и поднятый песокъ осыпалъ по сторонамъ, такъ что поперечное сѣченіе постепенно пріобрѣло форму параболы.

Затѣмъ обнаружили еще новыя неблагопріятныя явленія. Отдѣльные участки канала были обложены глиной, чтобы предотвратить фильтраціи. Этотъ слой былъ въ средней части промытъ и явилось опасеніе за цѣлость самаго канала. Другія поврежденія состояли въ разрушеніи укрѣпленій береговыхъ откосовъ, что происходило главнымъ образомъ отъ прохожденія близко отъ берега винтовыхъ пароходовъ.



Кромѣ того надо замѣтить, что въ названныхъ каналахъ не существуетъ обязательной буксирной тяги, такъ что одновременно съ механической тягой тамъ примѣняютъ еще и тягу людьми и лошадьми, и это въ значительной мѣрѣ затрудняетъ судоходство и отзывается неблагоприятно на береговыхъ откосахъ вслѣдствіе постоянныхъ попытокъ однихъ судовъ обгонять другія.

Существенное улучшение этихъ порядковъ можетъ быть достигнуто только тогда, когда эксплуатація буксирной тяги будетъ находится въ однихъ рукахъ и при условіи, чтобы всѣ суда передвигались по каналу однимъ способомъ. Отсюда неоднократно поднимался вопросъ о необходимости правительству взять самому въ руки всю эксплуатацію канала.

На Эльба-Травскомъ каналѣ существуетъ со времени его открытія условная буксирная монополія, при которой всѣ суда, не могущія пользоваться своимъ собственнымъ двигателемъ и не идущія за лошадьми или людьми, должны пользоваться услугами буксирныхъ пароходовъ, принадлежащихъ городу Любеку; такимъ образомъ другіе буксирные пароходы не допускаются въ каналъ. Этотъ способъ эксплуатаціи до сихъ поръ вполне оправдалъ ожиданія. Плата за буксировку составляетъ 0,4 пфен. или 0,004 марки на каждый тоннокилометръ.

Въ послѣднее время (1901—1906 гг.) выстроенъ каналъ Teltow, соединяющій южнѣ Берлина Шпрэ съ Гафелемъ. Онъ имѣетъ сѣченіе, сходное съ сѣченіемъ вышеупомянутыхъ каналовъ, и по нему могутъ проходить суда длиною въ 65 метровъ и шириною 8 метровъ. Принимая во вниманіе неудачные опыты съ буксирными пароходами, строители канала, Тельтовская община, рѣшили устроить электрическую тягу судовъ при помощи локомотивовъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ монопольную тягу. Прусское министерство изъявило свое согласіе.

Движеніе на каналѣ открыто въ 1907-мъ году, и локомотивы системы Сименсъ и Шукерта вполне оправдали всѣ ожиданія. На рисункѣ 189-мъ видѣнъ самый характеръ тяги на Тельтовскомъ каналѣ. Тарифъ за буксировку назначенъ въ размѣрѣ 0,4 пфен. или 0,004 марки за тоннокилометръ, и есть полное основаніе ожидать, что со временемъ при болѣе сильномъ движеніи его можно будетъ понизить.

Представляетъ значительный интересъ обсужденіе Особымъ Комитетомъ при Германско-Австро-Венгерской Ассоціаціи по внутреннему судоходству вопросовъ о монополіи тяги и о механической тяги судовъ по каналамъ. Комитету представлены были 2 доклада, касающіеся вопроса о способѣ тяги на новыхъ каналахъ, профессора Энгельса и г. Куна.

Докладъ профессора Энгельса. — Профессоръ Энгельсъ высказалъ мнѣніе, что судамъ должны быть предъявлены слѣдующія условія:

- 1) Максимумъ тоннажа при минимальномъ мертвомъ грузѣ и въ тоже время возможно меньшее сопротивленіе движенію; слѣдовательно суда должны быть не деревянные, а желѣзные; для того же, чтобы поощрить такой прогрессъ въ дѣлѣ постройки судовъ, слѣдуетъ исчислять плату за буксировку не по тоннажу судна, но по величинѣ его сопротивленія на ходу.

- 2) Сколь возможно большая легкость управленія, т. е. замѣна ручныхъ приспособленій для дѣйствія рулемъ механическими.

Въ своемъ докладѣ профессоръ Энгельсъ предположилъ, что скорость движенія составляетъ 5 килом. въ часъ, и что всѣ буксирные воза имѣютъ одну и



ту же скорость и не могут обгонять другъ друга. Что касается способа тяги на новыхъ каналахъ, то могутъ быть допущены только два предположенія:

1) Буксировка судовъ съ берега.

2) Буксировка по водѣ помощью буксировъ.

Что же касается до того, которой изъ этихъ системъ слѣдуетъ отдать предпочтеніе, то это зависитъ отъ слѣдующихъ условій.

Первое.—Дѣйствіе волненія на откосы зависитъ прежде всего отъ скорости движенія судна, и весьма мало отъ того, буксируется ли оно по водѣ, или съ берега, или идетъ своею собственною движущею силою. Вращающаяся волна, производимая винтомъ, не дѣйствуетъ на берега канала, но лишь на дно его. Поэтому съ точки зрѣнія сохранности профиля канала совершенно безразлично, производится ли буксировка съ берега или по водѣ, лишь бы скорость воды, производимая винтомъ, не превышала скорости обратной волны, образующейся при движеніи судна. Согласно наблюденіямъ г. Thiele на Дортмундъ-Эмскомъ каналѣ, гдѣ грунтъ ложа состоитъ изъ чистаго тонкаго дилювіальнаго песку съ величиною зеренъ въ 0,00043 м. разсматриваемое условіе сводится къ слѣдующему:

а) максимумъ скорости для парового судна съ собственнымъ двигателемъ не долженъ превосходить 6,3 килом. въ часъ;

б) максимумъ скорости для каравана, состоящаго изъ буксира и одного слѣдующаго за нимъ судна, не долженъ превосходить 6 килом. въ часъ.

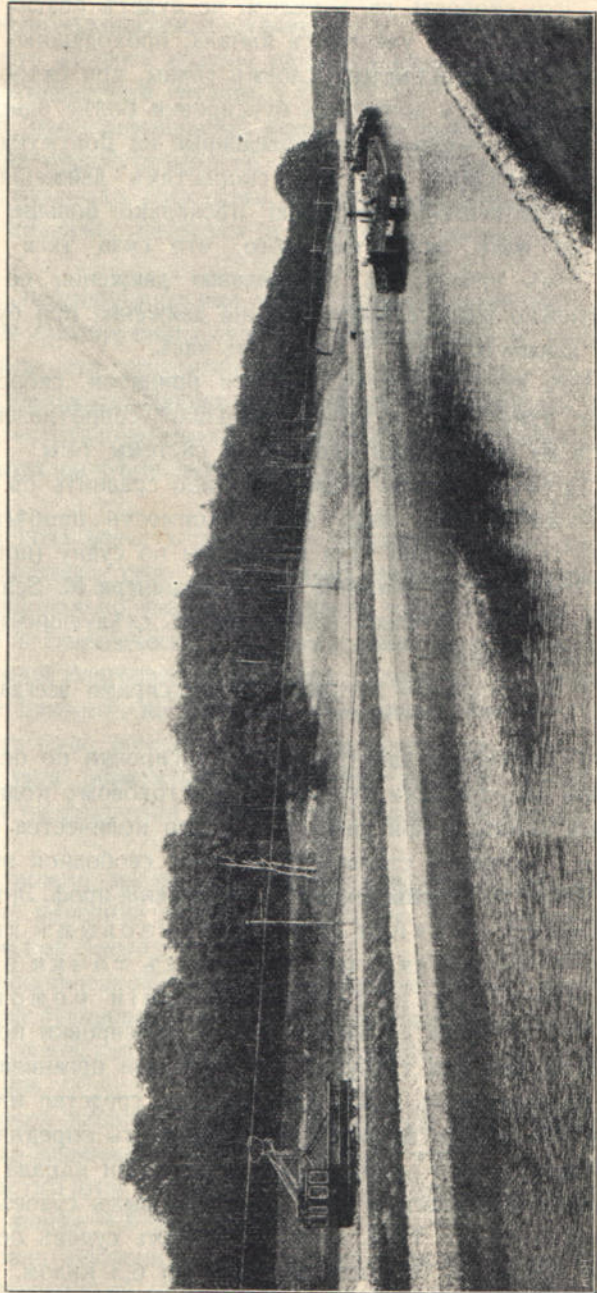


Рис. 189.



Если сразу буксируются два судна, скорость воды, приводимой въ движеніе винтомъ, всегда выше скорости обратной волны. Если сдѣлать предположенія, аналогичныя тѣмъ, которыя послужили для выводовъ Thiele, то можно допустить, что скорость въ 5 килом. не будетъ опасна для дна канала. По мнѣнію проф. Энгельса въ участкахъ канала, проходящихъ въ насыпи или съ проницаемымъ дномъ, прикрытымъ слоемъ глины, при скорости въ 5 килом. при всякой тягѣ не слѣдуетъ допускать буксировки болѣе одного судна.

Второе.—Опыты, произведенныя на Дортмундъ-Эмскомъ и Тельтовскомъ каналѣ показали, что при скоростяхъ движенія, меньшихъ 5 килом. въ часъ, сопротивленіе движенію нѣсколько больше при буксировкѣ съ берега, чѣмъ по водѣ, вслѣдствіе того, что сила тяги въ первомъ случаѣ направлена подъ угломъ къ направленію движенія; но это сопротивленіе все же значительно меньше еопротивленія движенію при буксировкѣ по водѣ, если скорость движенія болѣе 5 килом. въ часъ.

Изъ этого слѣдуетъ, что для принятой скорости въ 5 килом. въ часъ условіе, требующее возможно меньшаго сопротивленія движенію, такъ же не влияетъ на выборъ той или другой системы тяги.

Третье.—Чтобы возможно было сравнить съ экономической точки зрѣнія оба способа тяги, надо знать стоимость пробѣга грузовъ по каналу, т. е. стоимость собственно тяги и расходы по судну (погашеніе, содержаніе и пр.).

Принимая во вниманіе трудъ инженера М. Schinkel'я «Электрическая тяга судовъ», проф. Энгельсъ приходитъ къ слѣдующимъ заключеніямъ: для скорости 5 килом. въ часъ

а) монополярная эксплуатація буксирами всегда дороже свободной эксплуатаціи;

б) стоимость электрической буксировки по берегу менѣе стоимости монополярной эксплуатаціи буксирами при годовомъ количествѣ грузовъ болѣе 2 милліоновъ тоннъ, а при увеличеніи этого количества свыше 3.800.000 т. электрическая буксировка становится дешевле свободной эксплуатаціи буксирами.

Ввиду вышеприведенныхъ соображеній проф. Энгельсъ полагаетъ, что на каналахъ съ значительнымъ грузовымъ движеніемъ электрическая буксировка по берегу съ точки зрѣнія экономической предпочтительнѣе эксплуатаціи помощью буксировъ.

Что касается до электрической буксировки по берегу, то само собой разумѣется, что она требуетъ однообразной организаціи эксплуатаціи. Этотъ способъ представляетъ собой единственное средство избѣгать чрезмѣрныхъ скопленій судовъ и дать возможность установить опредѣленные тарифы.

Однообразная организація эксплуатаціи канала не должна исключать возможности пользоваться имъ для торговыхъ судовъ, снабженныхъ собственной движущею силою. Такъ какъ для такихъ судовъ безъ вреда для ложа канала можно допускать скорость движенія до 6,3 килом. въ часъ, то имъ можно разрѣшать обгонять груженые караваны.

Изъ системъ электрической тяги Энгельсъ рекомендуетъ только систему Siemens-Schuckert съ двойнымъ рельсомъ и однорельсовую систему Gérard-Clark.

Докладъ Куна.—Докладчикъ указалъ, что въ основаніе его изслѣдо-



ваній положены имѣющіе быть построенными каналы въ Германіи и Австро-Венгріи, на которыхъ можно ожидать при ежегодномъ провозѣ грузовъ въ нѣсколько милліоновъ тоннъ большого движенія главнымъ образомъ помощью буксируемыхъ судовъ съ значительною (въ 600 тоннъ и болѣе) вмѣстимостью и лишь небольшого числа свободно-плавающихъ судовъ.

Разсмотрѣніе поставленнаго вопроса должно начаться опредѣленіемъ вліянія способа тяги на издержки по перевозкѣ грузовъ.

Издержки по перевозкѣ, пропорціональныя количеству тонно-километровъ, состоятъ изъ стоимости найма судна, стоимости тяги и пользованія сооруженіями канала и, наконецъ, накладныхъ расходовъ, къ которымъ относятся сборы въ гаваняхъ, за пользованіе кранами, нагрузка и выгрузка, патентный сборъ и пр.;

Стоимость найма судна, пропорціональная числу тонно-километровъ, увеличивается и уменьшается для буксируемаго судна съ увеличеніемъ и уменьшеніемъ продолжительности рейса. Эта продолжительность заключаетъ въ себѣ время хода судна и время остановокъ. Первая величина въ свою очередь зависитъ отъ скорости движенія, а, слѣдовательно, отъ способа тяги. Сверхъ того вліяніе измѣненія скорости хода на цѣну найма увеличивается съ сокращеніемъ времени остановокъ.

Но увеличеніе скорости хода влечетъ за собою увеличеніе силы тяги и, слѣдовательно, увеличеніе издержекъ тяги. Изъ опытовъ можно заключить, что сила тяги измѣняется пропорціонально квадрату скорости хода. Поэтому увеличеніе скорости экономически и практически допустимо лишь настолько, чтобы сумма цѣны найма, уменьшенной благодаря увеличенію скорости, и стоимости тяги, увеличенной по той же причинѣ, въ общемъ уменьшилась бы.

Затѣмъ, чтобы возможно было понизить издержки перевозки, надо кромѣ выбора подходящаго способа тяги обратить вниманіе на лучшую утилизацію строительныхъ матеріаловъ и на полученіе наивысшаго процента полезнаго дѣйствія энергіи.

Изъ всего предыдущаго можно заключить, что на каналахъ, гдѣ ходятъ суда съ большимъ тоннажемъ, полезнѣе замѣнять животную тягу, хотя и болѣе дешевую, дорогой — механической тягой.

Изъ всѣхъ способовъ механической тяги въ настоящее время наиболѣе распространена тяга винтовыми буксирами. Этотъ способъ можно считать вполне подходящимъ для каналовъ, количество грузовъ на которыхъ не превышаетъ 1—2 милліоновъ тоннъ въ годъ.

Но на главнѣйшихъ новыхъ каналахъ можно ожидать съ открытіемъ ихъ эксплуатаціи гораздо болѣе большого движенія. Такъ подсчитано, что на новомъ каналѣ Рейнъ-Ганноверъ на участкѣ отъ Гельзенкирхена до Ганновера движеніе въ самомъ началѣ будетъ не менѣе 3,3 мил. тоннъ.

Изъ вышесказаннаго можно заключить, что система тяги помощью буксировъ будетъ невыгодна для движенія по каналу, если интенсивность движенія, т. е. частота скрещеній судовъ и число шлюзованій увеличится, такъ какъ въ цѣляхъ безопасности движенія всякое скрещеніе двухъ каравановъ, идущихъ за буксирами, требуетъ значительнаго уменьшенія скорости хода, а проходъ многочисленныхъ шлюзовъ представляетъ всегда для каравановъ большія трудности.



Сверхъ того нельзя упускать изъ виду, что съ увеличеніемъ эксплуатаціи паровыми буксирами увеличиваются и издержки по содержанію и ремонту канала.

Докладчикъ въ концѣ концовъ приходитъ къ заключенію, что среди многихъ предложенныхъ способовъ тяги въ сравненіе съ уже испытанной тягой паровыми буксирами можно поставить только способъ тяги судовъ по берегу электрическими локомотивами.

Что касается до выбора системы электрической тяги, то докладчикъ признаетъ, такъ же какъ и проф. Энгельсъ, что лучшими являются системы Siemens-Schuckert и Gérard-Clark.

Оба вышеуказанные доклада подвергались самому тщательному разбору, причемъ окончательный выводъ изъ работъ Комитета по вопросу о способѣ тяги на новыхъ каналахъ былъ выраженъ въ трехъ постановленіяхъ.

1. Электрическая тяга съ берега представляетъ способъ, наиболѣе пригодный въ экономическомъ отношеніи для каналовъ. Буксировка по водѣ можетъ быть допущена только въ спеціальныхъ случаяхъ.

2. Движеніе судовъ, снабженныхъ собственными двигателями, не должно быть запрещаемо, подъ условіемъ однако, чтобы подобныя суда выполняли условія, предписанныя для эксплуатаціи и содержанія каналовъ.

3. Должно подвергнуть изученію вопросъ о томъ, слѣдуетъ-ли при введеніи опредѣленныхъ тарифовъ за буксировку принимать во вниманіе сопротивленіе судовъ.

Тяга на русскихъ каналахъ.—Изъ всѣхъ водныхъ системъ Россіи—Маріинской, Вышневолоцкой, Тихвинской, Березинской, Днѣпровско-Бугской, Огинской и Августовской — первое мѣсто по торгово-промышленному значенію занимаетъ безспорно Маріинская, а потому мы, разсматривая вопросъ о тягѣ, считаемъ достаточнымъ для освѣщенія его ограничиться описаніемъ тѣхъ способовъ тяги, которые примѣнялись и примѣняются въ настоящее время на этой системѣ.

На всѣхъ каналахъ системы до послѣдняго времени примѣнялась въ видѣ общаго правила исключительно конная тяга. При такихъ условіяхъ нельзя было рассчитывать на значительную скорость движенія. Зависимость конной тяги отъ состоянія погоды не давала возможности судохозяевамъ строить расчеты на срочныя поставки. Совокупность всѣхъ этихъ условій и выдвинула вопросъ о замѣнѣ конной тяги механическою. Около 30 лѣтъ тому назадъ были сдѣланы попытки подобной замѣны, но онѣ потерпѣли неудачу, такъ какъ тогда пришли къ заключенію, что механическая тяга отзывается вредно на дно и стѣнки каналовъ. Но вотъ въ 1903-мъ и 1904-мъ годахъ по инициативѣ б. Начальника С.-Петербургскаго Округа п. с. профессора В. Е. Тимонова Министерство п. с. допустило въ видѣ опыта буксировку судовъ на всѣхъ каналахъ системы пароходами одновременно съ оставленіемъ конной тяги.

Происходившіе при этомъ на каналахъ явленія были подвергнуты самому тщательному наблюденію и послѣдующей научной обработкѣ.

Для опытной буксировки на Приладожскихъ каналахъ, были выработаны слѣдующія условія:

1. Пароходы должны быть винтовые.



2. Топливо для пароходовъ должно быть минеральное.

3.—Длина парохода должна быть не болѣе 10 саж.

4.—Осадка парохода подъ парами или нижней кромки его винта должна быть вообще не болѣе  $4\frac{1}{2}$  фут.

5.—Длина буксирнаго воза вмѣстѣ съ пароходомъ допускается не болѣе 80 саж., причемъ въ зависимости отъ результатовъ опытнаго буксированія длина воза можетъ быть уменьшена или увеличена до 100 саж.

6.—Скорость движенія парохода съ буксирнымъ возомъ допускается отъ  $2\frac{1}{2}$  до  $3\frac{1}{2}$  верстъ въ часъ въ зависимости отъ состоянія горизонта воды въ каналѣ и интенсивности судоходства, но при непремѣнномъ условіи не обходить съ буксирными возами идущихъ впереди судовъ за конной тягой.

7.—Скорость движенія буксирныхъ пароходовъ безъ воза не должна превышать 5-ти верстъ въ часъ.

8.—Правленіе Округа имѣетъ право прекращать производство опытной буксировки, если это будетъ признано необходимымъ вслѣдствіе поврежденія каналовъ, для каковой цѣли будутъ производиться наблюденія при буксировкѣ, или въ интересахъ правильности и безопасности общаго движенія судоходства.

Для выясненія степени размываемости дна и откосовъ каналовъ въ зависимости отъ прохожденія по нимъ буксирныхъ возовъ на Приладожскихъ каналахъ были выбраны четыре участка, каждый протяженіемъ въ 100 саж. Участки эти были выбраны такъ, чтобы произведенными наблюденіями можно было выяснить какъ степень размываемости различныхъ грунтовъ, такъ и пригодность примѣненныхъ типовъ укрѣпленія откосовъ. На каждомъ такомъ участкѣ былъ учрежденъ наблюдательный постъ. Разъ въ недѣлю, иногда и чаще, производились систематическіе промѣры и нивелировка съ отнесеніемъ ихъ какъ и первоначальныхъ измѣреній къ одному и тому же постоянному на посту реперу.

Эти промѣры на всѣхъ четырехъ участкахъ обнаружили довольно значительное поврежденіе откосовъ канала у урѣза воды, но подобныя же поврежденія происходили и при конной тягѣ, а потому нужно было выяснить, увеличилось-ли разрушеніе откосовъ отъ введенія тяги буксирными винтовыми пароходами и отъ увеличенія скорости движенія судовъ.

Для этой цѣли у откоса на водѣ былъ установленъ приборъ съ поплавками, которые во время волненія располагались на поверхности волны. Когда волна достигала наибольшей величины, поплавки при помощи пружины зажимались, и такимъ образомъ получался контуръ волны. Характеръ этихъ волнъ показалъ, что онѣ вызваны вѣтромъ.

Относительно волнъ, развиваемыхъ винтомъ двигателя до сихъ поръ нѣтъ точныхъ изсѣдованій. Наблюденія показываютъ, что непосредственно за кормой движущагося судна образуется углубленія, въ которое устремляется со всѣхъ сторонъ вода, благодаря чему происходитъ значительное возмущеніе воды, которое особенно сильно въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ киль; съ нимъ считаются при проектированіи гребныхъ винтовъ, и на грузовыхъ пароходахъ ставятъ винты большого діаметра, чтобы его лопасти захватывали болѣе спокойную воду, въ меньшей степени возмущенную судномъ.

При движеніи судна вода, заполняющая пониженіе, образуемое въ кормовой части отъ вытѣсненія воды движущимся судномъ, получаетъ постоянную



скорость и въ видѣ, такъ называемой, попутной струи постоянно слѣдуетъ за судномъ.

Движеніе воды у винта можно разложить на два направленія: одно—по оси вращенія и другое, въ плоскости нормальной къ оси; второе направленіе сильно измѣняется подъ вліяніемъ центробѣжной силы, разбрасывающей воду по окружности отъ оси, водоворотами отъ притока воды для заполнения углубленія, а также дѣйствіемъ попутной струи.

Винтъ долженъ обладать такими лопастями, чтобы форма и размѣры ихъ поверхностей по возможности не способствовали разбрасыванію по сторонамъ воды и разрыву ея при отбрасываніи назадъ, т. е., чтобы на задней поверхности лопастей винта не образовывались-бы пустоты, и чтобы вода сплошнымъ потокомъ обтекала винтъ. Если эти условія соблюдены, то вода будетъ отбрасываться винтомъ прямо назадъ въ видѣ сплошного цилиндрическаго столба, діаметръ котораго мало отличается отъ діаметра винта.

Эти замѣчанія вполнѣ подтвердились наблюденіями надъ движеніемъ пароходовъ по Приладожскимъ каналамъ. Струя, возмущаемая винтомъ, распространяется узкой полосой вдоль канала по направленію движенія парохода, нисколько не оказывая своего вліянія на волненіе у откоса.

Кромѣ вѣтра и волненія, вызываемаго буксирными возами, на состояніе откосовъ разрушающимъ образомъ вліяютъ дождь и вообще атмосферные осадки. Періодическія съемки береговъ на наблюдательныхъ участкахъ показали значительно бѣльшее разрушеніе откосовъ канала въ тѣ періоды, когда погода была дождливая или очень вѣтряная. Но особенно вредно отзывается на состояніи откосовъ таянне льда. Ледъ, примерзая къ обнаженнымъ мѣстамъ откоса или къ дерновкѣ, если она сохранилась, увлекаетъ за собою при начавшемся весеннемъ ледоходѣ цѣлыя глыбы грунта. При своемъ движеніи вдоль береговъ ледъ срываетъ дерновку и обнажаетъ откосъ, послѣ чего дальнѣйшее разрушеніе происходитъ отъ комбинированнаго дѣйствія самыхъ разнообразныхъ причинъ.

Съемка береговъ каналовъ, произведенная въ 1904-мъ году непосредственно послѣ ледохода, показала такое значительное разрушеніе откосовъ, въ сравненіи съ которымъ разрушенія, замѣченныя за все время навигаціи 1903-го года и происшедшія отъ волненія и буксировокъ судовъ, оказываются весьма незначительными. Все это съ наглядностью показало неосновательность опасеній, высказывавшихся ранѣе противъ допущенія механической тяги на каналахъ. Къ такимъ-же приблизительно выводамъ пришли изъ опытовъ, произведенныхъ на Онежскомъ каналѣ. Министерство П. С., принимая во вниманіе что конной тягой занимаются отъ 3 до 4 тысячъ мѣстныхъ крестьянъ, обладающихъ въ общемъ отъ 10 до 11 тысячъ лошадей, и что этотъ промыселъ является почти главнымъ источникомъ ихъ благосостоянія, рѣшило вводить на каналахъ механическую тягу постепенно, путемъ особыхъ ежегодно возрастающихъ нормъ числа судовъ, буксируемыхъ пароходами въ теченіе навигаціи. Изъ общаго количества 16—18 тысячъ судовъ, проходящихъ ежегодно по Приладожскимъ каналамъ, были допущены для буксировки.

Въ 1903 . . . . . 317 судовъ.

» 1904 . . . . . 1179 »



Въ 1905 . . . . .	1396 судовъ.
» 1906 . . . . .	1800 »
» 1907 . . . . .	2450 »

Сначала конная тяга на Маріинской системѣ не имѣла никакой организаціи, и судовладѣльцы должны были каждый разъ рядиться съ коноводами въ цѣнѣ за тягу своихъ судовъ. Вслѣдствіе этого цѣны за тягу были весьма неустойчивы, почему судовладѣльцы не могли заранѣе учесть, во что имъ обойдется доставка груза до мѣста назначенія. По той-же причинѣ коноводы подходили съ тягловыми лошадьми къ пристанямъ не по мѣрѣ надобности, а случайно—то въ чрезмѣрномъ, то въ недостаточномъ количествѣ. Последнее было невыгодно для обѣихъ заинтересованныхъ сторонъ.

Такое положеніе дѣла дало себя знать прежде всего болѣе слабой сторонѣ, коноводамъ, которые при участіи инспекціи и завели очередную тягу судовъ прежде всего на Приладожскихъ каналахъ. Операция конной тяги, примѣрно общая для всей Маріинской системы, заключается въ слѣдующемъ:

1.—Лица, желающія участвовать въ тягѣ, записываются передъ открытіемъ навигаціи въ канцеляріяхъ инспекторовъ судоходства и затѣмъ въ назначенный день собираются, устанавливають очередь лошадей, выбираютъ старостъ и ихъ помощниковъ и образуютъ такимъ образомъ коноводную артель на данномъ участкѣ пути. На обязанности старостъ и ихъ помощниковъ лежитъ назначать по требованію судовладельцевъ очередныхъ лошадей въ достаточномъ количествѣ. Каждый участокъ артели получаетъ отъ старосты именной билетъ, въ который вписывается номеръ его очереди, расчетъ заработка и время зачалки. Для участниковъ артели очередь обязательна; пропустившій свою очередь коноводъ исключается инспекторомъ изъ списка. На данномъ участкѣ пути могутъ заниматься тягою только вышеуказанныя лица; если-же кто нибудь пожелаетъ тянуться своими лошадьми, то долженъ на это просить разрѣшенія инспектора судоходства.

2.—Въ конечныхъ пунктахъ cadaго участка учреждаются очередныя конныя конторы, въ которыя обращаются судовладѣльцы, желающіе вести свои суда за лошадьми. Этими конторами завѣдуютъ уполномоченные отъ коноводовъ, избранные изъ своей-же среды; они-же, между прочимъ, своевременно извѣщаютъ участниковъ артели о времени наступленія ихъ очереди.

3.—Размѣръ платы за тягу одной лошади на данномъ участкѣ, размѣръ задаточныхъ денегъ, размѣръ средствъ на содержаніе конторъ и расходы, сопряженные съ обезпеченіемъ безостановочности тяги на пути, устанавливаются коннопромышленниками на предстоящую навигацію по соглашенію съ судово- и лѣсопромышленниками на особомъ совѣщаніи при участіи мѣстныхъ инспекторовъ судоходства, причемъ обыкновенно для отдѣльныхъ періодовъ навигаціи размѣръ платы за тягу одной лошади бываетъ различенъ и для гонокъ лѣсанъ—сколько выше, чѣмъ для судовъ. Если соглашеніе о стоимости тяги между сторонами не устанавливается, то вводится вольная тяга со всѣми послѣдствіями для обѣихъ сторонъ.

На Новыхъ Приладожскихъ каналахъ существуетъ слѣдующая норма тягловыхъ лошадей для тяги судовъ баржевой и полулодочной конструкціи, груженныхъ болѣе чѣмъ на 6 четв. арш., въ засимости отъ длины судна;



для судовъ длиною до 10 саж. . . . .	1 лошадь
» » » свыше 10 саж. до 14 саж. . . . .	2 »
» » » » 14 » » 18 » . . . . .	3 »
» » » » 18 » » 23 » . . . . .	4 »
» » » » 23 » » 25 » . . . . .	5 »
» » » » 25 » » 28 » . . . . .	6 »
» » » » 28 » » 31 » . . . . .	7 »
» » » » 31 » » 33 » . . . . .	8 »
» » » » 33 » » 35 » . . . . .	9 »

Для порожнихъ судовъ—меньше на одну лошадь, для груженыхъ судовъ барочной конструкціи—на одну лошадь больше, а для тяги каждой гонки полагается 6 лошадей съ 2 проводниками. Такое отношеніе числа лошадей къ числу проводниковъ сохраняется и при тягѣ судовъ, причемъ на неполную тройку полагается все равно одинъ проводникъ.

При существующихъ пока условіяхъ конная тяга является въ коммерческомъ отношеніи наивыгоднѣйшей и обходится около 0,001 коп. съ пуда и версты, тогда какъ паровая тяга не можетъ пока быть дешевле 0,002 коп. за ту же работу. Преимуществомъ ея является только сравнительная быстрота.

Что касается до электрической тяги, то таковая у насъ въ Россіи пока еще не получила распространенія на водныхъ путяхъ, хотя есть полное основаніе предполагать, что примѣненіе ея на Приладожскихъ каналахъ не встрѣтило-бы большихъ затрудненій и съ наглядностью показало-бы, насколько своевременно въ экономическомъ отношеніи замѣнить прежніе виды тяги новымъ, вполне современнымъ.

## ГЛАВА X.

### Дополнительныя статьи.

Описаніе работъ по постройкѣ Ново-Маріинскаго канала.—Для большаго ознакомленія читателей съ производствомъ работъ на каналахъ приведемъ описаніе весьма интересныхъ работъ по сооруженію Ново-Маріинскаго канала, представляющее конспективно изложенное сообщеніе инженера А. И. Звягинцева, сдѣланное имъ въ Собраніи инженеровъ п. с. 24-го октября 1886 года.

Прежде чѣмъ приступить къ описанію указанныхъ выше работъ приведемъ въ самыхъ краткихъ чертахъ свѣдѣнія о Маріинскомъ соединительномъ каналѣ и о тѣхъ причинахъ, которыя вызвали необходимость устройства взамѣнъ его другого, такъ называемаго, Ново-Маріинскаго канала.

Существовавшій съ 1808 года соединительный каналъ рр. Ковжи и Вытегры, входящихъ въ составъ Маріинской системы, имѣетъ длину  $7\frac{1}{2}$  верстъ и, начинаясь у деревни Грязный Омутъ, лежащей на р. Ковжѣ, прорѣзываетъ два небольшихъ озера, проходитъ раздѣльный пунктъ системы и озерки Пустое и Лудожское и примыкаетъ у деревни Верхній Рубецъ къ р. Вытегрѣ. Раздѣльный плесъ канала, состоявшій изъ бассейна между шлюзомъ Петра и Павловскимъ мостомъ, Матко-озера, копаного канала и Екатерининскаго бассейна, съ обѣихъ



сторонъ замыкался двухкамерными шлюзами: со стороны р. Ковжи шлюзомъ св. Екатерины и со стороны р. Вытегры шлюзомъ св. Петра.

По обѣ стороны раздѣльнаго плеса имѣлось по 5 камеръ деревянныхъ шлюзовъ размѣрами 22 саж.—длины и 30 фут. ширины.

Питаніе соединительнаго канала производилось Константиновскимъ водопроводомъ, которымъ вода изъ Ковжскаго озера, подпертаго плотиною у истока изъ него рѣки того-же имени на 6 футъ, проводилась въ Екатерининскій бассейнъ.

Константиновскій водопроводъ при паденіи въ 105 фут. и длинѣ 10 верстъ 266 саж. состоялъ 1) изъ копаныхъ каналовъ, имѣвшихъ ширину по дну отъ 10 до 14 футъ и полуторные откосы. 2) изъ ручья Пурасъ, подпертаго плотиною и составлявшего какъ-бы дополнительный резервуаръ къ водамъ Ковжскаго озера, 3) и ниже этой плотины изъ деревянныхъ русель-мостовъ протяженіемъ 627 саж. и копаныхъ каналовъ. Объемъ воды резервуаровъ, питавшихъ соединительный каналъ, равнялся 12 мил. куб. саж.

При переустройствѣ Маріинской системы въ 80-хъ годахъ прошлаго столѣтія было обращено вниманіе на большіе недостатки и затрудненія, которыя испытывало судоходство на соединительномъ каналѣ. Они сводились къ слѣдующему:

1. Крайняя ветхость гидротехническихъ сооружений, часть которыхъ построена на плавучихъ грунтахъ.
2. Заложеніе верхняго короля на 3 фута выше нижняго горизонта, отчего дѣлается невозможнымъ при взводномъ судоходствѣ открывать одновременно всѣ щиты, такъ какъ при этомъ судно подвергается сильнымъ ударамъ клинкетной воды, отчего конопатка выбивается, и судно тонетъ.
3. Неравномѣрное распредѣленіе паденія въ шлюзахъ.
4. Частыя засоренія Маріинскаго канала отъ обваловъ, сплывовъ откосовъ и выпучиванія дна.
5. Неудобство входа и выхода изъ Матко-озера во время сильныхъ вѣтровъ.
6. Недостатокъ воды въ соединительномъ каналѣ.

Извилистость и недостаточная ширина стрежня, а также затопляемость и узкость бичевниковъ въ плесахъ рр. Вытегры и Ковжи, непосредственно прилегающихъ къ каналу, представляли также большія затрудненія судоходству.

Ввиду этого рѣшено было построить новый соединительный каналъ съ болѣе пониженными раздѣльными плесами, чѣмъ въ старомъ каналѣ.

Благодаря такому пониженію представлялось возможнымъ уменьшить число шлюзовъ, потребныхъ для перехода изъ Ковжи въ Вытегру, и упразднить Константиновскій водопроводъ.

Работы по новому проекту должны были заключаться въ слѣдующемъ:

1) въ прорытіи въ обходъ Матко-озера канала, который долженъ состоять изъ двухъ частей: а) раздѣльнаго плеса, заключеннаго между двумя однокамерными шлюзами, пониженнаго на 4,32 саж. сравнительно съ горизонтомъ прежняго раздѣльнаго плеса, б) канала, соединяющаго этотъ плесъ съ р. Вытегрой.

2) въ улучшеніи несудоходной части р. Ковжи отъ выхода канала до судоходной ея части.

3) въ улучшеніи рр. Вытегры и Ковжи, первой до шлюза св. Николая, второй до шлюза Св. Анны.











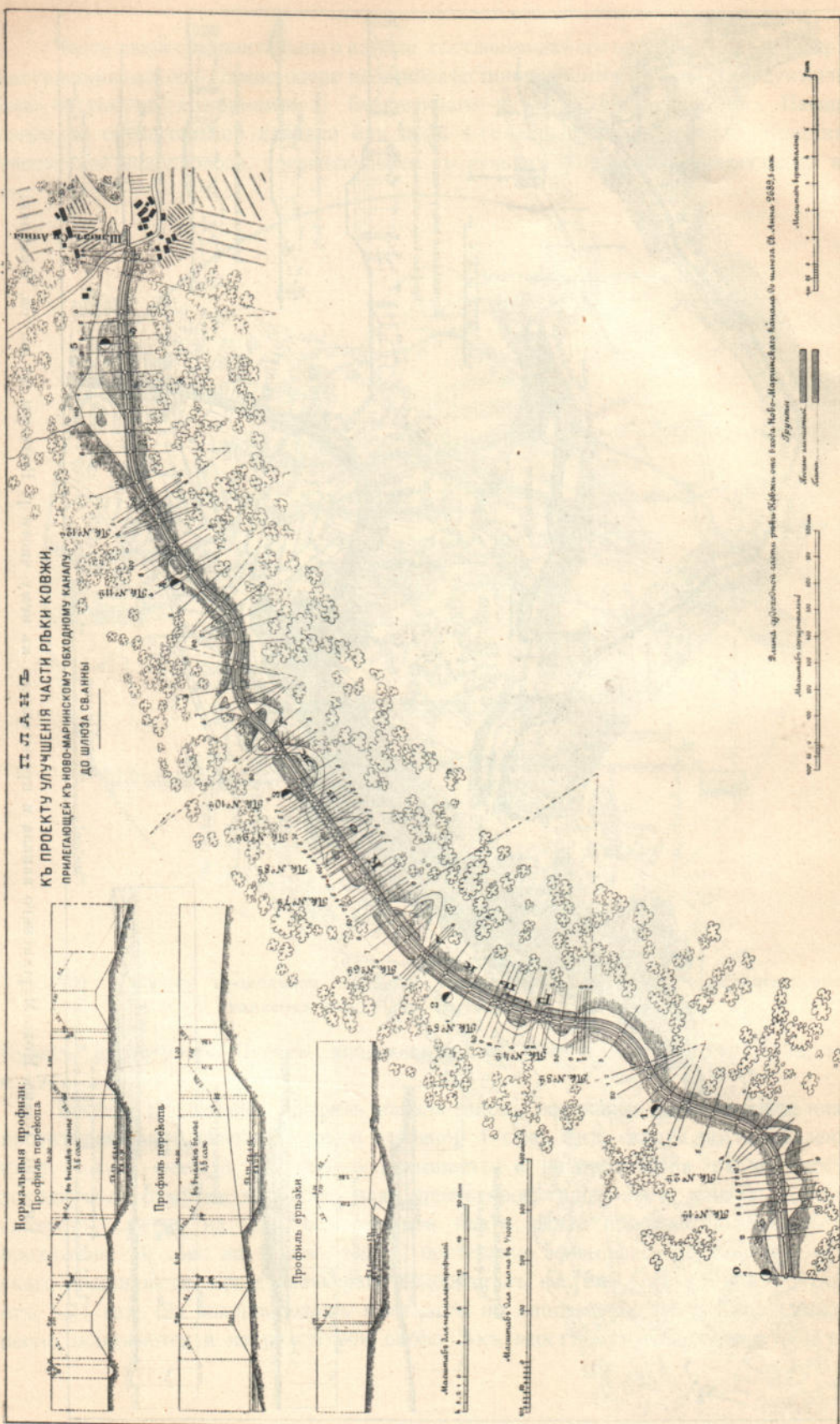


Рис. 192.







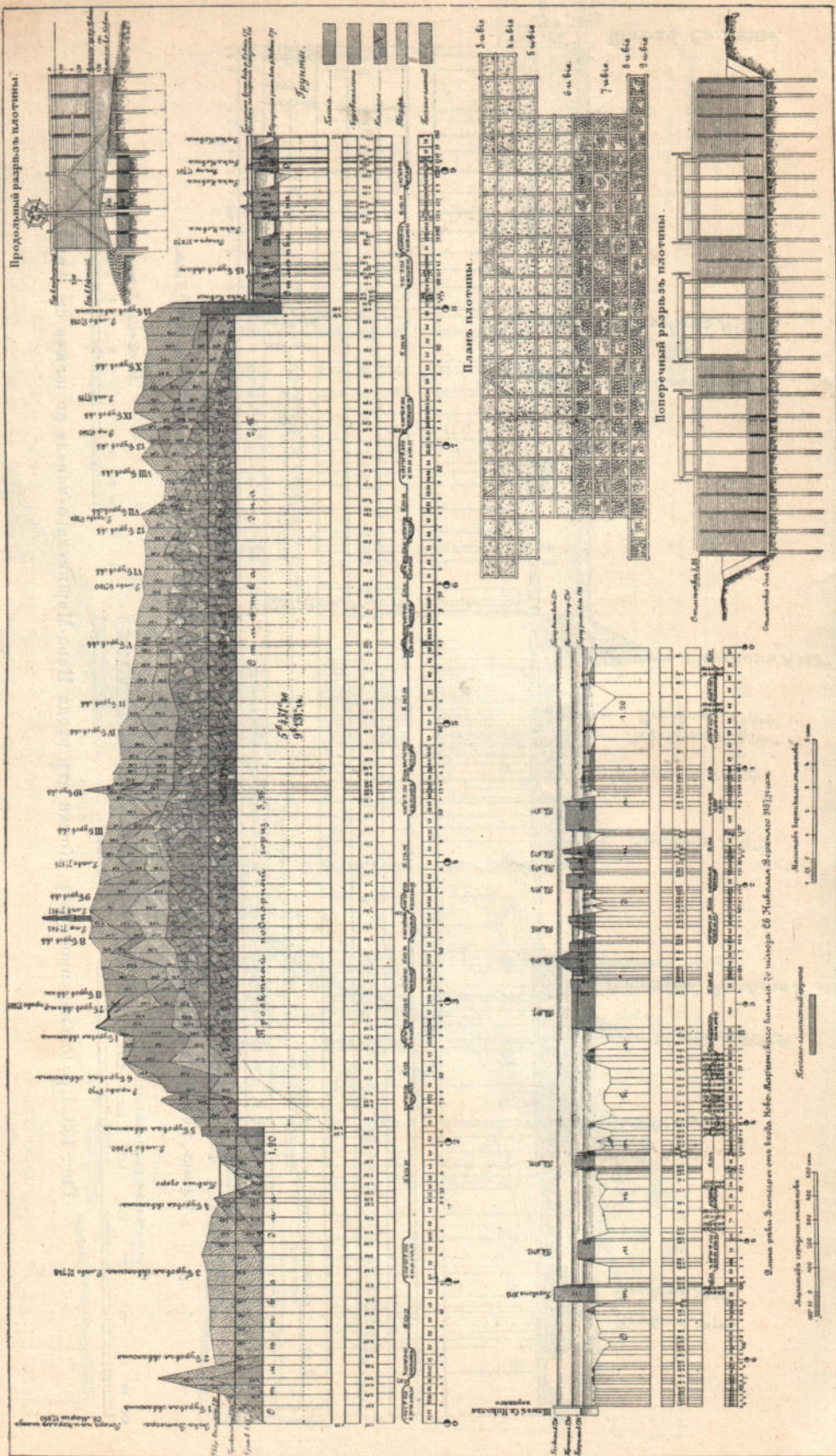


Рис. 194. Продольный профиль Ново-Маринского канала и р. Вытегры до шлюза св. Николая.



надъ дномъ уже только 3,21 саж. Далѣе на 200 саж. линія пересѣкаетъ ложбину Пураса, въ которой выемка 2,60 саж., и потомъ, оставляя ложбину Пураса съ лѣвой стороны, снова поднимается на возвышенность, имѣющую въ среднемъ отмѣтку 3,70 саж. Эта возвышенность, понижаясь на 0,40 саж., подходитъ къ несудоходной части р. Ковжи и круто опускается на протяженіи 10 саж. на 2,85 саж. По несудоходной части р. Ковжи мѣстность сравнительно ровная, и выемка въ среднемъ 1,15 саж.

Часть канала, идущаго отъ Павше-озера къ Вытегрѣ, по предварительному проекту предполагалось вести по р. Шимѣ, для чего было необходимо пересѣчь все Павше-озеро, ведя каналъ въ немъ между дамбами. Но окончательныя изысканія показали, что дно Павше-озера покрыто наноснымъ слоемъ ила весьма значительной толщины (въ нѣсколько саженъ), обладающимъ весьма слабымъ сцѣпленіемъ частицъ, и потому всякая насыпь, возведенная на немъ, неминуемо дала бы осадку, размѣровъ которой нельзя предвидѣть, и кромѣ того произвела бы выпучиваніе грунта въ предполагаемомъ между дамбами днѣ канала.

Ввиду этого направленіе по Шимѣ было замѣнено перекопомъ, проходящимъ по торфяному болоту, почти горизонтальному, съ средней отмѣткой въ 2.00 саж. надъ дномъ канала въ этой части.

Это болото идетъ отъ Павше-озера, какъ-бы составляя его продолженіе между Шимой и существовавшимъ соединительнымъ каналомъ, отдѣляясь отъ того и другого рядомъ возвышенныхъ бугровъ; для выхода канала въ р. Вытегру ниже расположеннаго на ней шлюза Св. Маріи, нынѣ упраздненнаго, пришлось пересѣчь одинъ изъ такихъ бугровъ. Благодаря такому измѣненію въ направленіи канала Павше-озеро вошло въ составъ его на протяженіи только 60 саж. вмѣсто 260 саж.; длина всего канала уменьшилась на 400 саж., а выемка на 3.500 куб. саж.; сверхъ того рѣка Шима оставалась совершенно свободною для весенняго сплава бревенъ, а удобной частью р. Вытегры, при незначительныхъ сравнительно работахъ по уширенію и поднятію бичевниковъ, воспользовались на большемъ протяженіи, между тѣмъ какъ Шимой вслѣдствіе ея извилистости нельзя было идти иначе, какъ рядомъ перекоповъ, только пересѣкая, а не пользуясь ею; да притомъ половина Шимы въ низовьяхъ ея протекаетъ въ торфяныхъ берегахъ, такихъ-же какъ и болото, а потому возможность большой осадки насыпныхъ бичевниковъ и выпучиванія дна какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ была одинакова.

Благодаря волнистому характеру всей окружающей линіи канала мѣстности она изобиловала водой въ видѣ болотъ. И самая линія канала была суха только на скатахъ холмовъ; все остальное представляло почти сплошное болото, исключая долины Пураса до его разлива, т. е. на протяженіи около 1 версты.

Особенно много воды было близъ Павше-озера и у Константиновскаго водопровода.

Болото, расположенное между Павше-озеромъ и р. Вытегрой съ одной и Шимой и Балтійской вѣтвью стараго соединительнаго канала съ другой, извѣдалось вслѣдствіе устройства стараго соединительнаго канала Маріинской системы. Другое скопленіе воды замѣчалось у Константиновскаго водопровода. Въ сказывалось вліяніе просачиванія воды черезъ стѣнки и дно водопроводныхъ руселъ, явленіе неизбежное при значительномъ протяженіи ихъ и ветхо-



сти и даже предвидѣнное при постройкѣ водопровода, потому что отъ каждого водопроводнаго моста прорыты были отводныя осушительныя канавки.

Наибольшая изъ нихъ шла отъ 4-го водопроводнаго моста, подъ которымъ прошла линія канала. Однако и ея размѣры оказывались недостаточными, чтобы убрать всю, просачивавшуюся воду, и почти на протяженіи версты въ ту и другую сторону отъ канавы было почти сплошное болото. Правда, эта канавка представляла какъ-бы резервуаръ, въ который стекала вода, просачивавшаяся изъ всѣхъ руселъ водопровода, такъ какъ другія осушительныя канавки входили въ нее какъ въ главную, переполняли ее и наводняли окружающую мѣстность; канавка эта въ свою очередь сливалась съ ручьемъ Пурасомъ.

Ручей Пурасъ беретъ начало изъ озера того-же имени, расположеннаго въ 4 хъ верстахъ отъ Ковжскаго озера. Пурасъ-озеро и ручей частью своего протяженія входили въ составъ водопровода, питавшаго раздѣльный плесъ Маринскаго воднаго пути.

Для опредѣленія грунтовъ было сдѣлано 15 буровыхъ скважинъ въ дополнение къ 10, имѣвшимся по изысканіямъ, ранѣе произведеннымъ, такъ что въ среднемъ на всемъ каналѣ скважины находились на разстояніи 160 саж. одна отъ другой. Результаты буренія показали, что грунты слѣдовало подраздѣлить на пять родовъ: торфяной, песчано-глинистый, глинистый буровато-глинистый и плитный, причемъ эти грунты расположены по ихъ плотности.

Ширина какъ канала, такъ и перекоповъ рр. Вытегры и Ковжи по дну принята въ 10 саж. при минимальномъ радіусѣ закругленія въ 120 саж., подводные откосы въ землистыхъ грунтахъ двойные, а надводные—полукторные; въ плитномъ грунтѣ какъ подводные, такъ и надводные откосы половинные.

Глубина воды при нормальномъ подпорномъ горизонтѣ должна быть 1 саж. Выражая отмѣтками, отнесенными къ основному принятому для проекта и работъ реперу, получимъ:

Отмѣтка дна канала . . . . .	2,15
Отмѣтка дна перекоповъ и срѣзокъ р. Ковжи .	0,55
Тоже р. Вытегры . . . . .	1,20
Отмѣтки нормальныхъ горизонтовъ:	
Канала . . . . .	3,15
р. Вытегры . . . . .	2,20
р. Ковжи . . . . .	1,55

Такимъ образомъ разность горизонтовъ между каналами и р. Ковжею равна 1,60 саж., а между каналами и р. Вытегрой 0,95 саж.

При переходѣ изъ каменистаго грунта въ другіе на поверхности послѣдняго оставлены съ каждой стороны канала бермы шириною 0,20 саж.; во всѣхъ остальныхъ грунтахъ на высотѣ судоходнаго горизонта для отдѣленія подошвы надводнаго откоса отъ подводнаго оставлены бермы шириною 0,25 саж.; въ выемкѣ глубиною болѣе 3,5 саж. съ неходовой стороны на этой высотѣ оставлены полусаженныя бермы съ канавкой глубиной въ 0,25 саж., шириною по дну тоже 0,25 с. и одиночными откосами; канавка эта отдѣлена бермой шириной 0,25 с. отъ подошвы откоса выемки.



Бичевникъ расположенъ на всемъ протяженіи какъ канала, такъ и улучшенныхъ частей рр. Вытегры и Ковжи по одной сторонѣ не выше 3,50 саж. надъ дномъ. Ширина бичевника въ выемкѣ глубиною болѣе 3,5 саж. принята въ 2 саж.; въ насыпяхъ и по естественному грунту—3 саж.

Бичевникъ сдѣланъ незатопляемый при условіи, чтобы наружный гребень его возвышался надъ весеннимъ горизонтомъ на 0,30 с., причемъ продольный уклонъ бичевника нигдѣ не превосходитъ 0,04, а поперечный 0,05, такъ что наружный гребень бичевника возвышается болѣе, чѣмъ задній.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда мѣстность удовлетворяетъ условію, что берега возвышаются на 0,30 саж. надъ весенними водами, бичевникъ идетъ по естественному грунту, причемъ возвышеніе его не можетъ быть болѣе 3,50 саж. надъ дномъ. При глубинѣ выемки болѣе 3,50 саж. бичевникъ располагается въ выемкѣ на высотѣ 3,5 саж. и отдѣленъ отъ подошвы откоса выемки канавкою и бермой тѣхъ-же размѣровъ, какъ и канавка на бермѣ канала съ неходовой стороны. Если-же мѣстность ниже отмѣтки, требуемой по условію незатопляемости бичевника, то послѣдній расположенъ въ насыпи съ двойными откосами и дѣлается шириною въ 3 сажени.

Кавальеры насыпались средней высотой въ 1,7 с. съ двойными откосами, причемъ подошвы располагалась на 6 саж. отъ края выемки. Канавы впереди кавальера имѣетъ ширину по дну и глубину въ 0,25 саж. при одиночныхъ откосахъ; она отдѣляется отъ подошвы кавальера бермой шириною не менѣе 0,25 с.

Нагорная канавы позади кавальера отдѣляется отъ подошвы его бермой въ 0,50 с. и имѣетъ ширину по дну и глубину 0,50 с. при одиночныхъ откосахъ.

Кромѣ земляныхъ работъ, связанныхъ съ прорытіемъ Матко-озерскаго канала и спрямленіемъ рр. Вытегры и Ковжи, были выполнены еще слѣдующія работы:

1.—Для перехода изъ раздѣльнаго плеса канала въ рр. Вытегру и Ковжу построены два однокамерныхъ деревянныхъ шлюза съ водоспускомъ при первомъ изъ нихъ для выпуска избытка воды изъ раздѣльнаго плеса.

2.—Для питанія раздѣльнаго плеса канала водой Ковжскаго озера возведена земляная плотина съ цѣлью образовать изъ р. Ковжи резервуаръ, горизонтъ котораго былъ поднять на 0,40 с. надъ судоходнымъ горизонтомъ раздѣльнаго плеса; построенъ водоспускъ, и прорыто водопроводное русло длиной 115 саж. для доставленія воды изъ резервуара въ раздѣльный плесъ; построена деревянная плотина и водоотводное русло для отвода избытка воды изъ резервуара въ р. Ковжу ниже земляной плотины.

3.—Устроены 20 каменныхъ трубъ съ ходовой стороны, 20 мощеныхъ лотковъ съ неходовой стороны, долженствовавшихъ проводить собранную въ канавкахъ спереди и сзади кавальеровъ дождевую воду въ каналъ; 13 бичевыхъ мостовъ, 12 деревянныхъ трубъ квадратнаго сѣченія площадью 0,25 саж., 2 лавы при проходѣ бичевника черезъ рѣки Вытегру и Ковжу и 4 караульныхъ дома.

Общее расположеніе гидротехническихъ сооружений и ихъ конструкція видны изъ прилагаемыхъ рисунковъ №№ 195 и 196, а потому на описаніи ихъ останавливаться не будемъ, а перейдемъ прямо къ описанію производства земляныхъ работъ, къ которымъ было приступлено въ августѣ 1882 г.







1883 года были начаты работы по всей линіи, причемъ въ шлюзованной части канала (раздѣльномъ бьефѣ) выемка производилась болѣе усиленно на концахъ

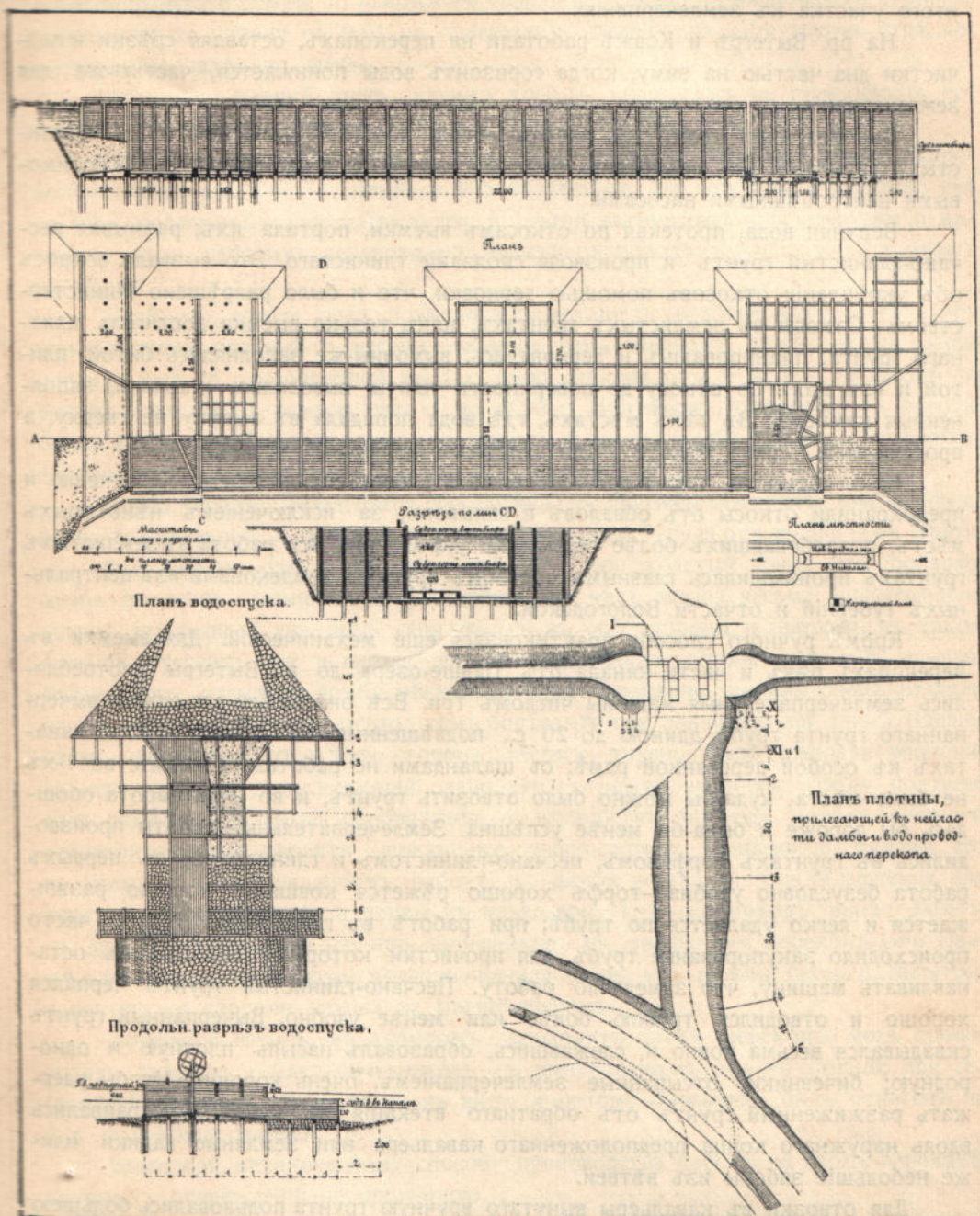


Рис. 196. Чертежъ шлюза къ проекту улучшенія р. Вытегры между профилею № 96 и Волоковымъ подъемнымъ мостомъ.

какъ для подготовленія котловановъ для шлюзовъ, такъ и для облегченія водоотлива.



На участкѣ отъ Павше-озера до рѣки Вытегры снимали вручную верхній слой торфа, изобиловавшего большимъ количествомъ карчей, для подготовки этого участка къ землечерпанію.

На рр. Вытегрѣ и Ковжѣ работали на перекопахъ, оставляя срѣзки и подчистки дна частью на зиму, когда горизонтъ воды понижается, частью-же для землечерпанія.

Впродолженіи этого года работа велась почти исключительно въ землястыхъ грунтахъ. Для водоотлива было поставлено 8 локобилей съ 10 дюймовыми центробѣжными насосами.

Верхняя вода, протекая по откосамъ выемки, портила ихъ, размывая песчано-глинистый грунтъ и производя сползаніе глинистаго. Это вызвало вопросъ объ укрѣпленіи откосовъ помощью дерновки, что и было разрѣшено Министерствомъ. Откосы въ землястыхъ грунтахъ, какъ только выемка достигала плитнаго грунта, планировались и дерновались, вымоины-же заполнялись битой плитой и изъ нихъ по откосу до поверхности плиты выводились канавки, наполненные камнемъ. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ вода попадала въ выемку не сверху, а просачиваясь черезъ откосъ, были заложены дренажныя канавки.

Какъ дерновка, такъ и дренажъ вполне удовлетворяли своему назначенію и предохранили откосы отъ обваловъ и сплывовъ, за исключеніемъ нѣкоторыхъ мѣстъ, потребовавшихъ болѣе серьезнаго укрѣпленія. Вся работа въ землястыхъ грунтахъ производилась главнымъ образомъ вручную землекопами изъ центральныхъ губерній и отчасти Вологодской.

Кромѣ ручного способа практиковался еще механическій. Для выемки въ перекопахъ рѣкъ и части канала отъ Павше-озера до р. Вытегры употреблялись землечерпательныя машины числомъ три. Всѣ онѣ имѣли для отвода вычерпаннаго грунта трубы длиною до 20 с., подвѣшенныя на проволочныхъ канатахъ къ особой деревянной рамѣ; съ шаландами не работали совсѣмъ: во 1-хъ не было мѣста, куда-бы можно было отвозить грунтъ, и во 2-хъ работа обошлась бы дороже и была-бы менѣе успѣшна. Землечерпательныя работы производились въ грунтахъ торфяномъ, песчано-глинистомъ и глинистомъ; въ первыхъ работа безусловно удобна—торфъ хорошо рѣжется ковшами, хорошо разжижается и легко удаляется по трубѣ; при работѣ въ глинистомъ грунтѣ часто происходило закупориванье трубъ, для прочистки которыхъ приходилось останавливать машину, что замедляло работу. Песчано-глинистый грунтъ черпался хорошо и отводился трубою болѣе или менѣе удобно. Вычерпанный грунтъ складывался весьма ровно и, слежавшись, образовалъ насыпь плотную и однородную; бичевники, отсыпанные землечерпаніемъ, очень хороши. Чтобы удержать разжиженный грунтъ отъ обратнаго втеканія въ каналъ, устраивались вдоль наружнаго конца предполагаемаго кавальера или земляныя валики или же небольшіе заборы изъ вѣтвей.

Для отвозки въ кавальеры вынутаго вручную грунта пользовались большею частью лошадьми, но кромѣ ихъ на обѣихъ оконечностяхъ шлюзованной части канала были устроены желѣзнодорожныя пути. По нимъ земля изъ выемки отвозилась у шлюза св. Александра въ насыпь водоудержательной дамбы, а у шлюза св. Петра въ дамбу черезъ Павше-озеро. Для путей по той и другой дамбѣ были устроены эстакады на сваяхъ, забитыхъ въ три ряда черезъ 1,5 с., скрѣп-



ленных схватками накрестъ; по сваямъ были уложены поперечныя насадки, на нихъ продольныя, на которыхъ лежали шпалы. Желѣзнодорожный путь шелъ у Александровскаго шлюза по выемкѣ въ траншеѣ, затѣмъ, перейдя черезъ стрѣлку, поднимался по уклону въ 0,01 на поверхность земли, гдѣ была другая стрѣлка, и слѣдовалъ далѣе до дамбы.

Поѣздъ по выемкѣ шелъ заднимъ ходомъ, поднимался на поверхность переднимъ и подходилъ къ дамбѣ снова заднимъ ходомъ.

У Петровскаго шлюза поѣздъ прямо поднимался по такому-же уклону. Паровозовъ было два по 33 тонны и 105 платформъ. На каждомъ пути было два состава поѣздовъ: одинъ нагружался, а другой выгружался. Для нагрузки и выгрузки часть рабочихъ перевозилась вмѣстѣ съ поѣздомъ, часть-же оставалась на мѣстѣ.

Желѣзная дорога дала возможность отсыпать водоудержательную дамбу при Ковжской плотинѣ съ весьма значительнымъ запасомъ, такъ ширина дамбы поверху вмѣсто однообразной въ 3 с. была сдѣлана отъ 3 до 9 с., а запасъ по высотѣ уже послѣ осадки отъ 0 до 0,50 с. При этомъ, отсыпаясь съ высоты около 2,50 с., земля значительно уплотнялась, и осадка дамбы произошла довольно быстро.

Дамба черезъ Павше озеро находилась въ другихъ условіяхъ, она не была водоудержательной, а имѣла назначеніе предохранить суда отъ волненія въ озерѣ.

Дно Павше—озера представляетъ изъ себя толстый слой ила, поэтому дамба по мѣрѣ насыпанія и увеличенія въ вѣсѣ давала весьма значительную осадку, выдавливая изъ подъ себя грунтъ въ обѣ стороны и притомъ въ такой сильной степени, что поднятый грунтъ образовалъ островъ на днѣ канала. Ввиду этого, отсыпавъ дамбу нѣсколько болѣе половины ширины озера, рѣшили прекратить дальнѣйшую насыпь, тѣмъ болѣе что при значительной длинѣ Павше-озера, закрытаго со всѣхъ сторонъ лѣсомъ, трудно было ожидать волнений въ части канала. пересѣкающей озеро. Этотъ опытъ насыпки дамбы подтвердилъ ранѣе высказанныя соображенія о неудобствѣ прохода канала согласно предварительнаго проекта черезъ все озеро между дамбами и выходѣ его въ Шиму. Съ прекращеніемъ работъ на дамбѣ желѣзная дорога служила для простой отвозки грунта и плиты въ кавальеры. Тотъ-же поѣздъ ранѣе работы на дамбѣ служилъ для насыпки бичевниковъ на торфяномъ перекопѣ отъ Павше-озера до рѣки Вытегры, подвозя сначала землю изъ выемки около р. Вытегры, а потомъ со стороны канала за Павше-озеромъ.

Торфяной грунтъ, въ которомъ проходитъ этотъ перекопъ, могъ производить сильную осадку бичевниковъ съ выпучиваніемъ дна въ каналъ; при составленіи проекта это имѣлось въ виду, и потому бичевникъ былъ отнесенъ на 4 с. отъ конца выемки.

Благодаря механическому способу производства работъ на этомъ перекопѣ, крупныхъ поврежденій не произошло.

При отсыпаніи бичевниковъ поѣздами, они постоянно утрамбовывались ихъ вѣсомъ; осадка происходила равномернo и постепенно, подошва бичевниковъ уплотнилась, слежалась, и полотно приняло устойчивое положеніе.

Правда, послѣ окончательной осадки полотно бичевника представляло въ продольномъ профилѣ волнообразную кривую, но волнистость была не велика.



Выемка въ этомъ перекопѣ, какъ было сказано выше, въ нижнихъ слояхъ была произведена землечерпательницами; вручную были сняты только верхніе слои торфа, какъ содержащіе значительное количество карчей и древесныхъ, не перегнившихъ еще, остатковъ.

Способъ работы оказалъ большое вліяніе на устойчивость какъ откосовъ, такъ и дна. При работѣ вручную съ водоотливами дно и откосы подвергаются давленію со стороны насыпанныхъ бичевниковъ и кавальеровъ, и, если грунтъ слабый, подвижный, какъ напримѣръ торфъ, а материкъ залегаетъ глубоко, то подъ тяжестью насыпи происходитъ выпучиванье его въ сторону выемки. При работѣ же землечерпательницей выемка постоянно заполнена водой, представляющей какъ-бы противовѣсъ давленію насыпи, что значительно предохраняетъ отъ выпучиванія.

Кромѣ желѣзнодорожныхъ путей пользовались еще конножелѣзной липуточной дорогой. Для отвозки грунта изъ выемки она оказывалась мало пригодна, но зато она оказала большія услуги при подвозкѣ лѣсныхъ матеріаловъ къ сооруженіямъ и при развозкѣ вдоль бичевника щебня, песку и бревенъ для барьернаго бруса, мостовъ и проч. Вся работа въ землистыхъ грунтахъ на каналѣ производилась лѣтомъ, исключая части, лежавшей подъ водопроводнымъ мостомъ Константиновскаго водопровода. Тутъ выемка производилась осенью и зимой 1885 г., когда весь каналъ уже былъ готовъ, и можно было приступить къ разборкѣ водопровода.

Перейдемъ теперь къ описанію работъ въ плитномъ грунтѣ. По химическому составу плита представляетъ почти чистый известнякъ—болѣе 90% извести—а по формациі принадлежитъ къ осадочнымъ отложеніямъ каменно-угольнаго періода. Вся толщина плиты представляетъ изъ себя ничто иное, какъ собраніе различныхъ раковинъ; нѣкоторыя изъ нихъ сохранили вполнѣ свою форму, нѣкоторыя измѣнили ее, да и самая масса или цементъ тоже ничто иное, какъ мельчайшія раковины. При работахъ было замѣчено, что твердость слоевъ была весьма различна, и даже въ одномъ и томъ-же слоѣ встрѣчались мѣста разной твердости въ зависимости отъ механическаго состава. Вообще же можно сказать, что болѣе крупные слои были тверже, а мелкіе мягче.

Во всѣхъ случаяхъ для выломки плиты прежде всего пробивалась траншея, служившая въ тоже время для водоотлива. Ширина ея мѣнялась отъ 0,5 до 1 с., глубина зависѣла отъ толщины и твердости пробиваемыхъ слоевъ: всегда старались дойти или даже пересѣчь подошву слоя, чтобы потомъ легче было отламывать куски плиты, подбивая ихъ снизу; разламываніе плиты, гдѣ траншея была глубока (до 1 с.), производилось легче и скорѣе. Вся траншея вдоль канала, за весьма рѣдкими исключеніями, разрабатывалась помощью динамита.

Динамитъ выписывался изъ заграницы (отъ Нобеля) и вмѣстѣ съ пистонами (отъ Рейнхольда въ Берлинѣ по 200 штукъ) доставлялся на мѣсто работъ отдѣльными лодками, что разумѣется поднимало его стоимость. Фунтъ динамита дѣлился на восемь частей въ формѣ цилиндровъ, завернутыхъ въ воощенный пергаментъ; пистоны изъ красной мѣди, цилиндрической формы, имѣли діаметръ въ 6 лин. и высоту обыкновенно въ 2½ сант., но бывали и въ 5 сант.; взрывчатого состава въ нихъ помѣщается 0,540 грам., и надъ нимъ остается свободное мѣсто для вкладыванія фитиля. Для воспламененія патроновъ употреблялся исключительно Брекфордской шнуръ,



т. е. фитиль, вложенный въ гуттаперчевую оболочку, предохраняющую его отъ вліянія влажности. Въ траншеѣ буровыя скважины для зарядовъ дѣлались въ разстояніи отъ 0,50 до 1 с., располагая ихъ обыкновенно въ шахматномъ порядкѣ; глубина скважинъ въ среднемъ была около 10 вершковъ \*). Буреніе производилось вручную; была приобрѣтена и пневматическая бурильная машинка, но послѣ сдѣланныхъ опытовъ она не употреблялась, потому что при ручномъ буреніи вершокъ скважины обходился дешевле. Подобная машинка болѣе пригодна для твердыхъ каменныхъ породъ, для мягкаго-же известняка она слишкомъ сильна и мало пригодна, тѣмъ болѣе что на работахъ имѣлись опытные бурильщики, олончане, съ береговъ Онежскаго озера, гдѣ разрабатываются каменные ломки. На зарядъ динамита бралась половина патрона, т. е.  $\frac{1}{16}$  фунта, хотя въ нѣкоторыхъ мѣстахъ приходилось брать по цѣлому патрону и даже по два; глубина скважинъ, разумѣется, тогда была больше. Забивокъ въ скважинахъ не было никакихъ; ихъ роль играла вода, которая всегда стояла въ траншеѣ. Такъ какъ было замѣчено, что нѣсколько рядомъ расположенныхъ взрывовъ даютъ лучшіе результаты при одновременности ихъ дѣйствія, то и старались достичь этого, давая соотвѣтственныя длины зажигательному шнуру; ради той-же цѣли пробовали пользоваться электричествомъ, сначала при помощи батарей изъ 4-хъ элементовъ Грeve, а потомъ электро-магнитной машинки системы Сименса. Примѣненіе батареи оказалось неудобнымъ: во 1-хъ она требовала за собой особеннаго ухода, въ 2-хъ ради безопасности ее надо было помѣщать саженьхъ въ 50 отъ мѣста взрыва, а при такой длинѣ проводниковъ батарея не была въ состояніи давать искры между концами проволокъ даже въ одномъ запалѣ; она могла воспаленить до 5 запаловъ одновременно, если они имѣли между концами проводниковъ платиновую проволочку, отъ накаливанія которой взрывался гремучій составъ, но такія запалы стоятъ дороже обыкновеннаго.

Обращеніе съ машинкой Сименса не представляло этихъ неудобствъ. Она была настолько сильна, что послѣ 3—4 оборотовъ рукоятки могла взрывать при запалахъ безъ накаливанія до 15 скважинъ; обыкновенно машинкой взрывалось 8—10 зарядовъ. При употребленіи машинки Сименса случалось, однако, что только крайнія скважины взрывались, а среднія нѣтъ. Надо предполагать, что причина этого заключалась въ плохой изолировкѣ соединенія проводниковъ съ запалами; если при этомъ такія соединенія попадали въ воду, то токъ проходилъ по ней, обходя запалы.

При взрывахъ электричествомъ буровыя скважины приходилось готовить заблаговременно и, пользуясь перерывомъ для обѣда рабочихъ, сразу взрывать ихъ; это, а также и продолжительность изолированія проводника, установки запаловъ, вообще подготовительныхъ работъ къ взрыву, которыхъ при томъ нельзя было поручить десятникамъ, мѣшали пользоваться электричествомъ въ болѣе широкихъ размѣрахъ. Результаты взрыва бывали весьма различны; болѣе удачные давали трещины въ плитѣ, раскалывали ее на крупные куски, а неудачные вырывали только небольшую воронку, разбрасывая куски плиты сажень за 50. Въ первомъ случаѣ приступали къ выломкѣ, забивая въ трещины клинья и стараясь

\*) На 1631 куб. саж. траншейной выемки потребовалось 218 п. 35 ф. динамита, 80 п. пороха, 7619 круговъ фитилей, 501.750 вершковъ бурильныхъ скважинъ, 50.175 взрывовъ.



отдѣлить кусокъ. Въ рѣдкихъ случаяхъ достаточно было ломовъ, чтобы отворотить плиту; почти всегда приходилось пользоваться вагами изъ рельсовъ; заостренный конецъ такого рельса вкладывался въ трещину, а къ другому его концу на веревкѣ подвязывалась катальная доска, на которую клались камни, но чаще становились рабочіе и, раскачивая доску, мало по малу, иногда въ нѣсколько пріемовъ при помощи клиньевъ отдѣляли плиту. Обыкновенно отбитые такимъ образомъ куски были слишкомъ крупныхъ размѣровъ, что-бы можно было нагружать ихъ на тачки; поэтому для отвозки ихъ разбивали клиньями, ломами, просто кувалдами, смотря по твердости. Ломка плиты какъ зимой, такъ и лѣтомъ была одинакова; разумѣется зимой надо было осторожнѣе обращаться съ динамитомъ и предохранять его отъ замерзанія. Въ сухихъ частяхъ плиты и главнымъ образомъ около откосовъ вмѣсто динамита употреблялся порохъ. Пользоваться динамитомъ у откоса выемки было неудобно потому, что онъ, дѣйствуя съ одинаковой силой по всѣмъ направленіямъ, разрушалъ-бы ту часть плиты, которая должна была остаться не тронутой, и портилъ-бы откосъ. А порохъ только отламывалъ куски отъ откоса, не повреждая его, такъ какъ его дѣйствіе направлено въ сторону наименьшаго сопротивленія. Въ тѣхъ случаяхъ, когда въ выемкѣ плита образовала довольно высокую и сухую стѣнку, порохъ дѣйствовалъ лучше динамита, такъ какъ отъ послѣдняго получались только трещины, а первый откалывалъ куски.

Водоотливъ въ плитномъ грунтѣ представлялъ большія трудности, такъ какъ вода попадала въ выемку не только съ поверхности, но шла въ большомъ количествѣ изъ щелей между слоями плиты и пробивалась даже со дна въ видѣ фонтановъ и ключей изъ трещинъ.

Мы не будемъ описывать производства работъ въ обыкновенныхъ земляныхъ грунтахъ и скажемъ только нѣсколько словъ о тѣхъ поврежденіяхъ, которыя обнаруживались во время работъ въ откосахъ выемокъ и бичевниковъ. Само собой разумѣется, что отъ рода грунта зависѣлъ и характеръ поврежденія. Такъ въ песчано-глинистомъ грунтѣ при просачиваніи въ откосахъ воды частицы песка вымывались, и глина, размягчаясь, сплывала; въ торфяномъ грунтѣ, вслѣдствіе малаго сцѣпленія его частицъ между собою, происходили провалы бичевника, выпучиваніе дна и обвалы откосовъ; въ глинистомъ, въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ онъ залегалъ наклонными слоями съ незамѣтными прослойками песка, дѣлались сдвиги и сползаніе бичевника и откоса. Способъ исправленій этихъ поврежденій такъ-же зависѣлъ отъ рода грунта: для песчано-глинистаго надо было или удалить воду, или-же дать ей возможность свободно стекать, не портя откоса, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ приходилось еще укрѣплять подошву откоса; для торфа уменьшался вѣсъ насыпи, и давленіе ея передавалось на большую площадь; отъ обваловъ торфяные откосы укрѣплялись сваями; въ глинистомъ грунтѣ поврежденнымъ откосамъ придавались или болѣе пологое заложеніе, или-же откосъ подраздѣлялся бермами на части.

Краткія свѣдѣнія объ имѣющихся въ Россіи каналахъ.

Приладожскіе, Онежскій, Бѣлозерскій и Ново-Маріинскій каналы входятъ въ составъ Маріинской системы, а потому, прежде чѣмъ говорить о нихъ, приведемъ свѣдѣнія о томъ, изъ какихъ составныхъ частей состоитъ эта система.







Въ настоящее время Маріинскій водный путь представляется въ слѣдующемъ видѣ Рѣка Нева (57 в.), Приладожскіе каналы (158 в.), р. Свирь до устья Онежскаго канала (194 в.), Онежскій обходный каналъ (63 в.), р. Вытегра (своб. часть длин. 9 в. 255 с. и шлюзов. длин. 43 в. 245 с.), Ново-Маріинскій каналъ (8 в. 23 с.), р. Ковжа (шлюзов. часть длин. 28 в. 277 с. и свободн. часть длин. 37 в.), Бѣлозерскій каналъ (63 в. 125 с.) р. Шексна (шлюзов. часть длин. 98 в. 164 с. и свободн. до впаденія въ р. Волгу у Рыбинска 289 в. 86 с.).

Такимъ образомъ все протяженіе Маріинскаго воднаго пути отъ С.-Петербургскаго порта до г. Рыбинска равно 1054 в. 175 с. (Рис. 197).

Приладожскіе каналы.—Приладожскіе каналы образуютъ двѣ идущія въ обходъ Ладожскаго озера, почти параллельныя другъ другу, линіи — старыхъ и новыхъ каналовъ (рис. 198).

Къ старой линіи принадлежатъ каналы: ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I (старый Ладожскій) длиною 104 в., ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II (старый Сясьскій)—длинною 10 в. и ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I (старый Свирскій)—длинною 48 в.

Къ новой линіи принадлежатъ каналы: ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА II (новый Ладожскій) — длиною 103,5 в., ИМПЕРАТРИЦЫ МАРИИ ѲЕОДОРОВНЫ (новый Сясьскій)—длинною 9,6 в., ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА III (новый Свирскій)—длинною 43 в.

Новые каналы открытые; старые также открытые, за исключеніемъ канала ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I, который запертъ 6-ю шлюзами при пересѣченіи съ Невою у Шлиссельбурга и 5 шлюзами при пересѣченіи съ Волховомъ.

Въ новыхъ приладожскихъ каналахъ ширина по дну была принята въ 12 саж. за исключеніемъ уширенныхъ мѣстъ въ устьяхъ каналовъ. Откосы каналовъ были слѣдующіе: отъ подошвы у дна до высоты 0,8 саж. — съ двойнымъ заложеніемъ, далѣе на высоту 0,5 с. съ тройнымъ заложеніемъ и затѣмъ остальная, верхняя часть

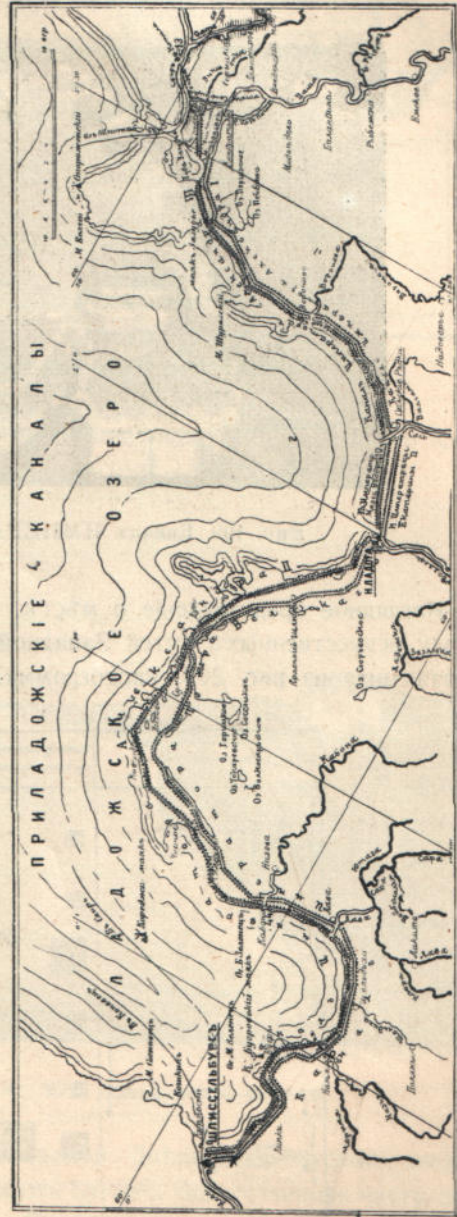


Рис. 198. Приладожскіе каналы.







періодъ съ 1885 по 1895 г. произведено было углубленіе канала до 1,10 с. отъ нормального горизонта при ширинѣ по дну до 11 с., тѣмъ неменѣе въ настоящее время онъ настолько обмелѣлъ и заплылъ, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ ширина глубокаго хода по дну достигаетъ только 4 саж. (рис. 201).

Ново-Маріинскій каналъ—Свѣдѣнія объ этомъ каналѣ приведены выше на стр. 250—266 при описаніи работъ по его постройкѣ.

Бѣлозерскій каналъ—Бѣлозерскій каналъ въ обходъ Бѣлаго озера прорытъ въ 1846 г. Ширина его по дну была сдѣлана первоначально 8 с., а впоследствии уширена до 11 с., откосы береговъ—полуторные, глубина въ 12 четв. арш. при нормальномъ подпорномъ горизонтѣ. Вслѣдствіе обваловъ откосовъ и запыла онъ въ настоящее время сильно обмелѣлъ, такъ что въ зиму 1910—11 г.г.

для углубленія лишь главныхъ затруднительныхъ мѣстъ было вынуто свыше 20.000 куб. саж. грунта (рис. 202 и 203).

Каналъ—шлюзованъ и замыкается отъ сосѣднихъ болѣе низкихъ участков—со стороны Ковжи шлюзомъ «Польза», а со стороны Шексны—шлюзомъ «Безопасность» Водохранилищемъ для питанія Бѣлозерскаго канала служитъ Лозско - Азатское озеро, загражденное плотиною въ истокѣ р. Куности.

Днѣпровско-Бугскій каналъ—Днѣпровско - Бугскій

каналъ входитъ въ составъ такъ называемой Днѣпровско-Бугской системы, соединяющей рѣку Припять съ р. Западнымъ Бугомъ. Искусственная часть системы заключается между г. Пинскомъ на р. Пинѣ и г. Брестъ-Литовскомъ на р. Западномъ Бугѣ при впаденіи р. Муховца; въ составъ ея входятъ: р. Пина на протяженіи 40,77 вер., Днѣпровско-Бугскій каналъ длиною 76,08 вер., рѣки Муховокъ и Муховець на протяженіи 83,12 вер.

Днѣпровско-Бугскій каналъ состоитъ изъ трехъ частей: раздѣльнаго бѣфа

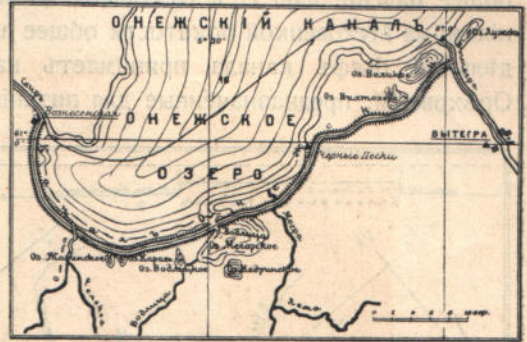


Рис. 201. Онежскій каналъ.



Рис. 202. Бѣлозерскій каналъ.



длин. 24,72 в.; Пинской покатости длин. 39,11 в. и Муховецкой покатости длиною 12,26 в. Каналь имѣеть ширину по дну 5 саж. и полоторные откосы; на всемъ протяженіи канала устроены искусственные бичевники высотой 0,70 с. надъ подпорнымъ горизонтомъ съ расположенными позади ихъ контръ-фоссе для отвода излишнихъ водъ изъ канала. Пинская покатость канала имѣеть общее паденіе 2,60 с. и раздѣлена на четыре бьефа съ неравнобѣрными паденіями; на Муховецкой покатости общее паденіе 0,57 с. раздѣлено на 2 бьефа. Раздѣльный бьефъ канала принимаетъ на себя два водопровода: Бѣлозерскій и Орѣховскій, предназначенные для питанія канала изъ водохранилищъ, а вмѣстѣ

съ тѣмъ служащіе для сплава по нимъ плотовъ. (Планъ 204),

Днѣпровско-Бугская система, шлюзованная посредствомъ одиночныхъ разборчатыхъ плотинъ (полушлюзовъ) приспособлена лишь для караваннаго судоходства и не допускаетъ движенія судовъ въ одиночку въ продолженіе всего навигаціоннаго времени.

Огинскій каналъ — Огинскій каналъ входитъ въ составъ, такъ называемой, Огинской системы, соединяющей

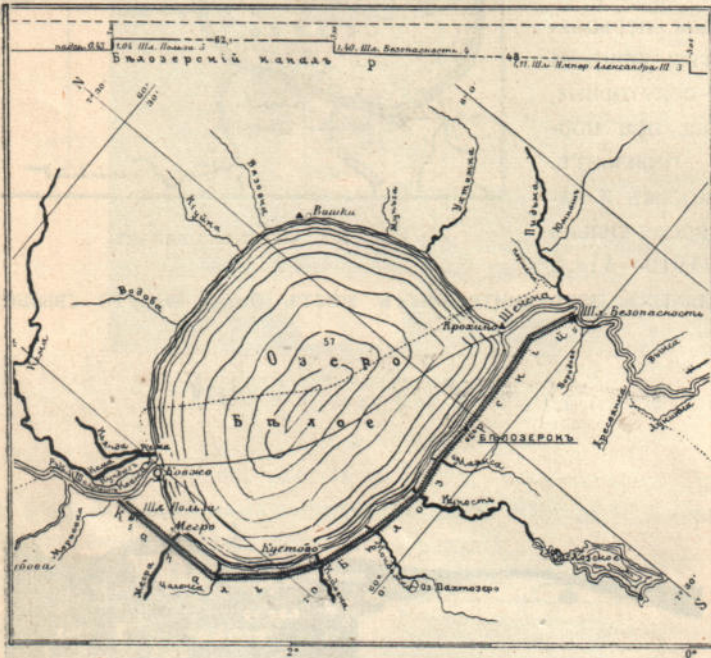


Рис. 203. Бѣлозерскій каналъ.

Днѣпровскій и Нѣманскій бассейны. Шлюзованную часть системы составляютъ: р. Ясольда отъ ея устья до соединенія съ Огинскимъ каналомъ протяженіемъ 58 в., Огинскій каналъ вмѣстѣ съ озерами Вулько и Выгоновскимъ, черезъ которыя онъ проходитъ, длиною 50,28 в., р. Щара отъ Огинскаго канала до впаденія въ р. Нѣманъ, протяженіемъ 206 вер.

Огинскій каналъ шлюзованъ десятью камерными шлюзами. Раздѣльною точкою системы служитъ озеро Выгоновское, отъ котораго проведенъ каналъ съ одной стороны до Щары длиною 2,70 вер. съ однимъ камернымъ шлюзомъ, съ другой къ Ясольдѣ длиною 42,82 вер. съ 9 камерными шлюзами. Озеро Выгоновское служитъ главнымъ питающимъ систему резервуаромъ; оно имѣеть длину 11 вер. ширину 5 вер. Озеро Вулько лежитъ на покатости канала со стороны Ясольды, имѣеть въ длину и ширину 1 вер. и служитъ вспомогательнымъ резервуаромъ для этой вѣтви канала. Каналь имѣеть ширину по дну отъ 3 до 5 с. съ полоторными откосами. Вдоль канала имѣются бичевники шириною отъ 10 до 14 фут., частью искусственные. Въ бичевникахъ этихъ построено 13 дере-



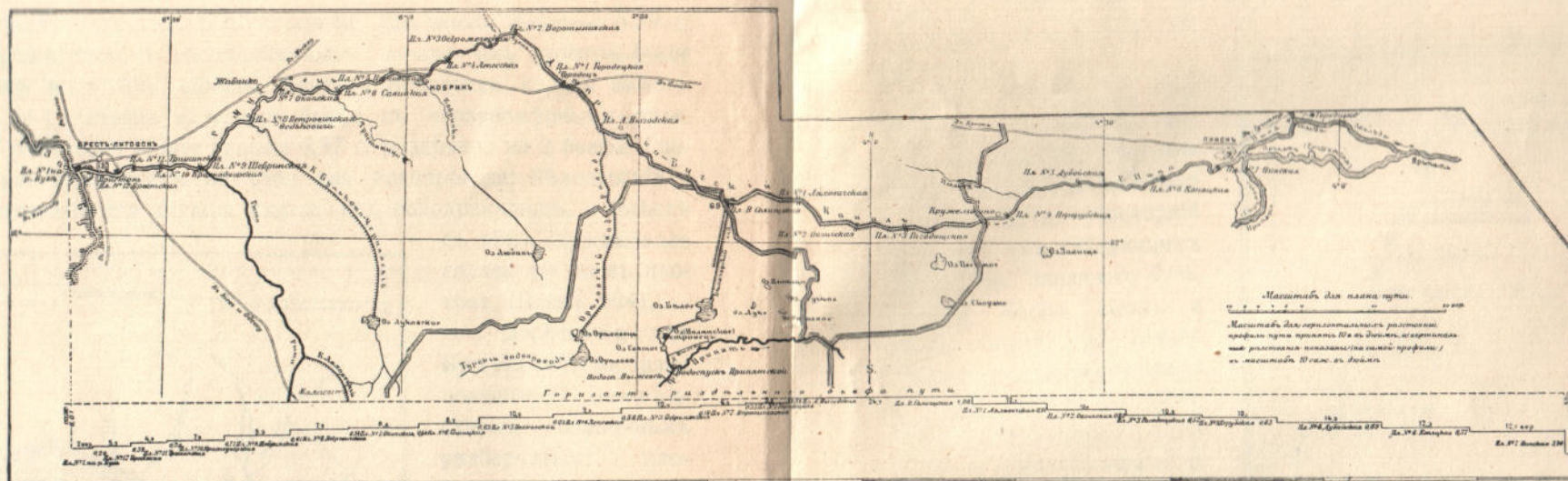


Рис. 204. Часть Днипровско-Бугского водного пути от р. Запади. Буга до г. Пинска.

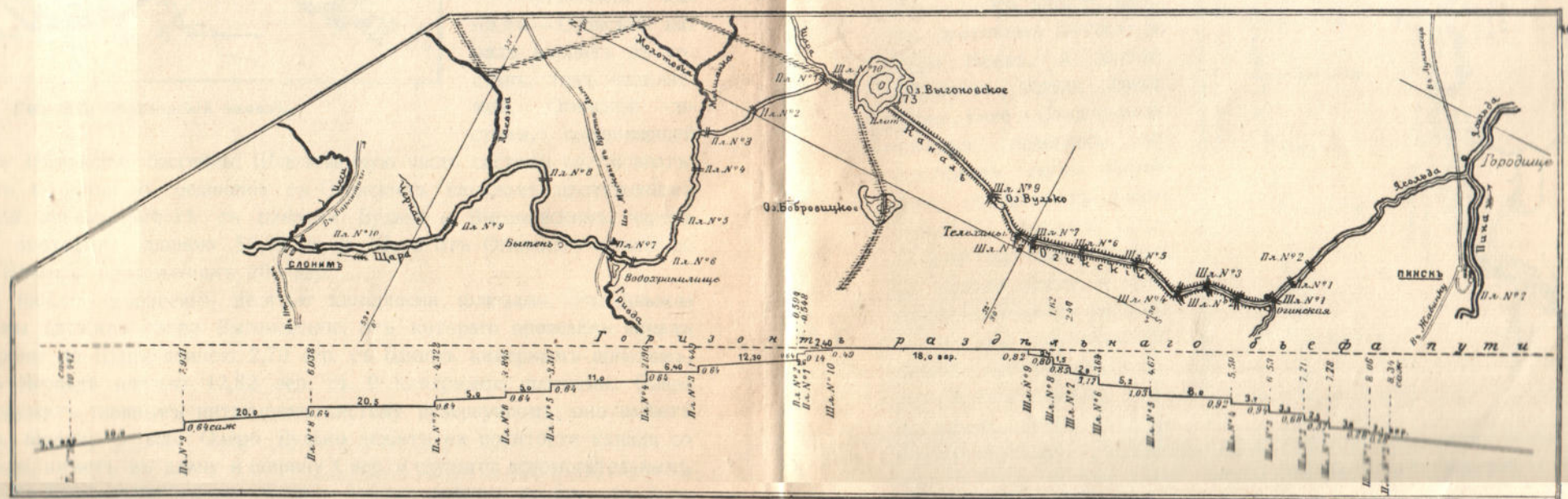


Рис. 205. Часть Огинского водного пути от г. Слонима до р. Пины.



венных водоспусковъ, а для стока весеннихъ водъ въ р. Ясольду, накапливающихся по окружающимъ каналъ болотамъ, имѣется два контръ-фоссе, изъ которыхъ находящійся по правой сторонѣ канала начинается отъ бассейна выше шлюза VIII, а съ лѣвой—отъ шлюза VII. (Рис. 205).

Августовскій каналъ — Августовскій каналъ составляетъ одно изъ звеньевъ Висло-Нѣманскаго воднаго пути. Послѣдній состоитъ изъ слѣдующихъ частей: рр. Западнаго Буга, Нарева, Бобра, Нетты и далѣе вплоть до самаго Нѣмана частью изъ рѣчекъ и озеръ, частью изъ каналовъ; шлюзованная часть пути заключается между р. Бобромъ и Нѣманомъ и носить общее названіе Августовскаго канала. Каналъ проходитъ по холмистой мѣстности, прорѣзанной оврагами и ручьями, соединяющими множество озеръ и болотъ. Начинаясь отъ р. Бобра, каналъ идетъ его притокомъ Неттою до озера Нецко, а затѣмъ проходитъ черезъ озера: Нецко, Бяле и Студзеничне, которыя, соединяясь посредствомъ двухъ проливовъ, составляютъ одинъ бассейнъ. Озеромъ Студзеничне оканчивается вѣтвь со стороны Вислы, и начинается раздѣльная часть системы; она состоитъ изъ канала протяженіемъ  $81\frac{1}{2}$  вер. и оканчивается у небольшого озера Орлево,

откуда начинается Нѣманская вѣтвь системы. Нѣманская вѣтвь идетъ до рѣчки Черная Ганча черезъ группу озеръ: Орсово, Панево-Крживе и Михалево, связанныхъ между собой небольшими соединительными каналами и примыкающихъ ниже деревни Микашевки къ рѣчкѣ Черная Ганча. Далѣе путь идетъ по рѣчкѣ

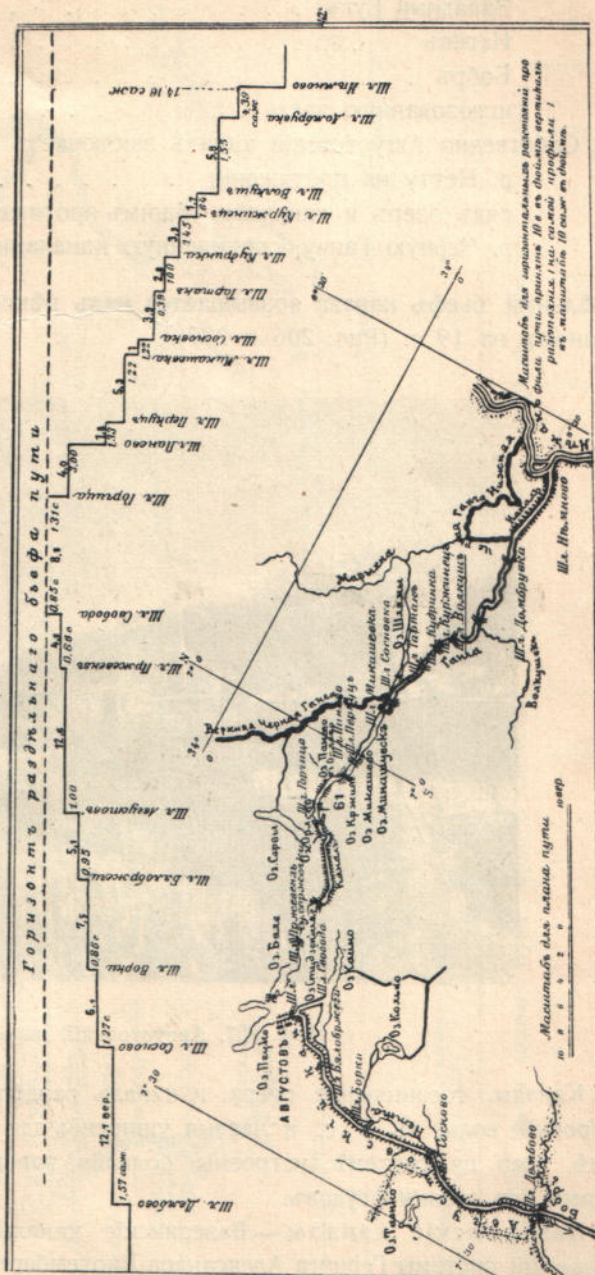


Рис. 206. Часть Висло-Нѣманскаго пути отъ р. Бобра до р. Нѣмана.



Черная Ганча до деревни Чортекъ, откуда до р. Нѣмана прорытъ каналъ между Ганчею и Нѣманомъ на протяженіи 6 вер. Висло-Нѣманскій путь отъ Вислы до Нѣмана имѣетъ общую длину 398 вер., изъ которыхъ приходится на

Западный Бугъ . . . . .	37 верстъ
Наревъ . . . . .	194 »
Бобрь . . . . .	69 »
шлюзованную часть . . . . .	98 »

Собственно Августовскій каналъ заключаетъ въ себѣ:

р. Нетту на протяженіи . . . . .	33 верстъ
рядъ озеръ и каналовъ общимъ протяженіемъ .	39 »
р. Черную Ганчу, спрямленную каналами . . .	26 »

Раздѣльный бьефъ канала возвышается надъ рѣкой Бобромъ на 7,16 с. и надъ Нѣманомъ на 19 с. (Рис. 206 и 207).



Рис. 207. Августовскій каналъ.

Каналы, соединяющіе озера, и каналъ раздѣльнаго бьефа имѣютъ ширину въ уровнѣ воды въ 5 с. и частыя уширенія для прохода встрѣчныхъ судовъ. Кромѣ того на системѣ устроены большія заводи, служащія пристанями и мѣстами для стоянки судовъ.

Вазеринскіе каналы—Вазеринскіе каналы входятъ въ составъ такъ называемой системы Герцога Александра Виртембергскаго. Эта система, построенная въ 1828 г., соединяетъ непосредственно р. Шексну съ Кубенскимъ озеромъ и вытекающей изъ него р. Сухоной. Начинаясь отъ р. Шексны у с. Топорни въ 46 вер. ниже выхода въ эту рѣку Бѣлозерскаго канала, система начинается каналомъ къ озеру Сиверскому, на уровень котораго поднимается посредствомъ 4-хъ шлюзовъ; далѣе она проходитъ черезъ рядъ озеръ и соединяющіе ихъ











каналы и каналы (озеро Бабье—р. Поздышка—озеро Зауломское—каналъ Вазеринскій 1-й озеро Вазеринское—каналъ Вазеринскій 2-ой—озеро Кишемское—каналъ Кишемскій), составляющіе раздѣльный бьефъ системы протяженіемъ около 29 вер., запертый со стороны Кубенскаго озера шлюзомъ № 5, затѣмъ опускается по рѣкѣ Итклѣ, озеру Благовѣщенскому и рѣкѣ Порозовицѣ посредствомъ 4-хъ шлюзовъ къ озеру Кубенскому. Вазеринскіе каналы (рис. 208) имѣютъ ширину

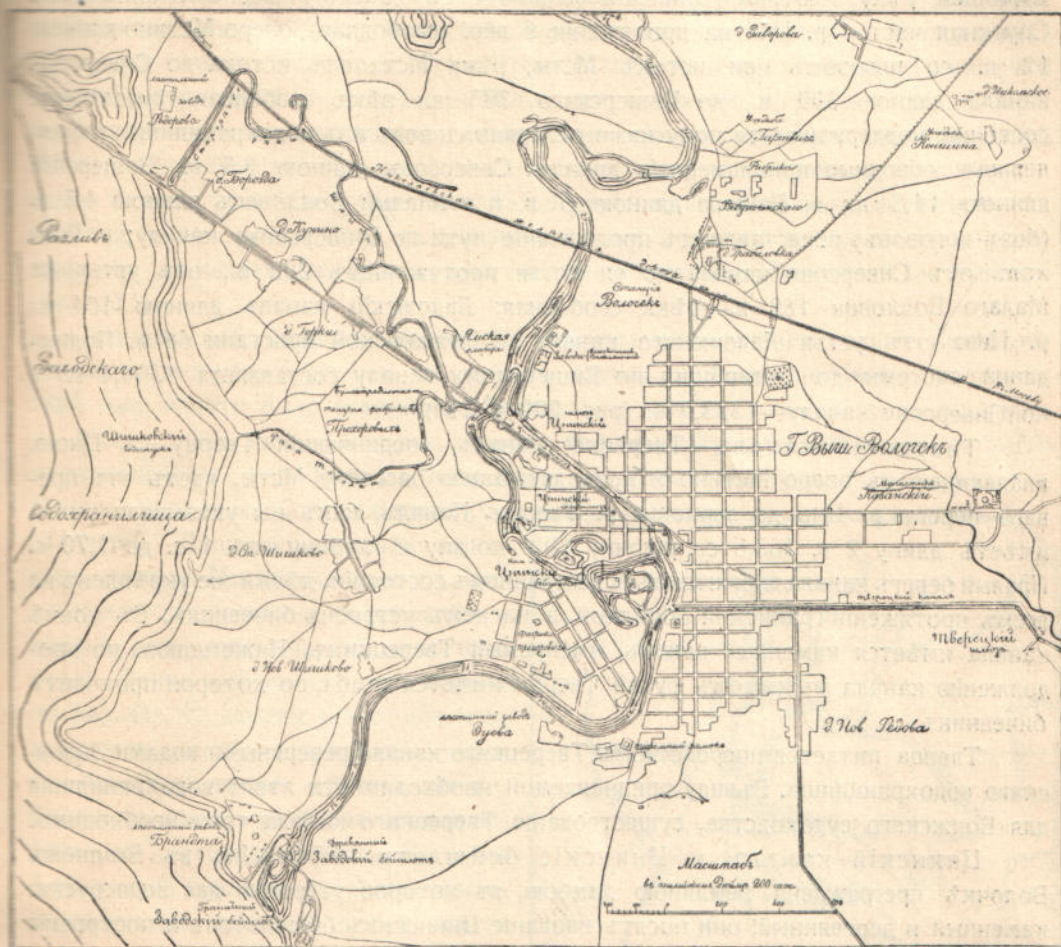


Рис. 210. Часть Вышневолоцкой системы.

по дну въ 6 с. и глубину около 0,75 с. при полуторныхъ откосахъ. Вслѣдствіе сильнаго ихъ обмелѣнія въ настоящее время производится ихъ расчистка и приданіе откосами двойного заложения.

Тверецкій, Цнинскій, Сиверсовъ и Вишерскій каналы—Всѣ эти каналы входятъ въ составъ Вышневолоцкой водной системы, которая заключаетъ въ себѣ слѣдующія части:

Взводная часть—р. Волга между Рыбинскомъ и Тверью, протяженіемъ 349 вер., рѣка свободная, нешлюзованная; судоходство на ней поддерживается попусками изъ Верхневолжскаго водохранилища и отчасти Заводскаго; р. Тверца



отъ устья до Тверецкаго канала протяженіемъ 175 вер., имѣеть одинъ камерный шлюзъ въ обходъ Прутненскаго порога; судоходное состояніе поддерживается резервными водами изъ Заводскаго водохранилища при раздѣльномъ бьефѣ системы и Осугскимъ резервуаромъ. Раздѣльный бьефъ—Тверецкій каналъ длиною 2 в. 363 с. со шлюзами при устьѣ, р. Цна и образуемый ею резервуаръ длиною 275 с., Цнинскій дериваціонный каналъ длиною 575 с. въ обходъ заграждающей рѣку плотины (Цнинскій бейшлотъ съ однимъ камернымъ шлюзомъ). Спускная часть—р. Цна на протяженіи 6 вер. (свободная), озеро Мстино длиною 12 в. со шлюзомъ при истокѣ Мсты, рѣка Мста отъ истока до Сиверсова канала длиною 399 в., до Вишерскаго 383 в., рѣка свободная, судоходное состояніе поддерживается пусками резервныхъ водъ изъ водохранилищъ; параллельные обводные приильменскіе каналы: Сиверсовъ длиною 8,5 в., Вишерскій длиною 14,5 в.; р. Вишера длиною 5 в. и р. Малый Волховецъ длиною 4,5 в. (безъ шлюзовъ) представляютъ продолженіе пути по Вишерскому каналу; р. Волховъ отъ Сиверсова канала до ея устья протяженіемъ 202 в., отъ устья же Малаго Волховца 188 в.—рѣка свободная; Ладожскій каналъ длиною 104 в.; р. Нева отъ устья Ладожскаго канала до Рожковской пристани 64 в. Полная длина системы до Петербурга по Вишерскому каналу составляетъ 1309,4 в., а по Сиверсову каналу—1323,9 в. (рис. 209 и 210).

Тверецкій каналъ—Тверецкій каналъ, соединяющій Тверцу съ Цною, впадающею въ озеро Мстино и принадлежащую бассейну Мсты, идетъ отъ праваго берега р. Цны до верховья р. Тверцы. Каналъ, какъ мы указывали выше, имѣеть длину 2 в. 363,5 с., ширину 10 с. по дну и глубину отъ 1 с. до 1,70 с. Правый берегъ канала держится въ естественномъ состояніи, лѣвый-же укрѣпленъ на всемъ протяженіи гранитной обдѣлкой, и на немъ устроенъ бичевникъ. Въ концѣ канала имѣется каменный шлюзъ, именуемый Тверецкимъ. Ниже шлюза по продолженію канала въ самомъ руслѣ Тверцы имѣется дамба, по которой проходитъ бичевникъ.

Тверца питается посредствомъ Тверецкаго канала резервными водами Заводскаго водохранилища. Въвиду признаваемой необходимости этого водохранилища для Волжскаго судоходства, существованіе Тверецкаго канала тоже необходимо.

Цнинскій каналъ и Цнинскіе бейшлоты.—Рѣка Цна въ Вышнемъ Волочкѣ преграждена земляною дамбою, въ которой устроено два водоспуска: каменный и деревянный; они носятъ названіе Цнинскихъ бейшлотовъ и построены для слѣдующихъ цѣлей:

1) При открытіи этихъ бейшлотовъ выпускать весеннюю воду Заводскаго водохранилища, которая при открытыхъ шлюзахъ Тверецкомъ и Цнинскомъ не вмѣщается въ каналахъ и можетъ затопить прилегающія части города.

2) При закрытіи бейшлотовъ поднимать горизонтъ воды въ раздѣльномъ бассейнѣ на 1,33 с. выше горизонта воды въ р. Цнѣ ниже бейшлотовъ.

Цнинскій каналъ проведенъ въ г. Вышнемъ Волочкѣ между правыми берегами р. Цны. Каналъ обходитъ плотину съ Цнинскими бейшлотами, спрямляя излучину рѣки, и имѣеть длину 575 с., ширину по дну 10 с. и глубину отъ 1,33 до 1,67 с.; берега канала на всемъ протяженіи имѣютъ гранитную обдѣлку. Въ средней части канала устроенъ Цнинскій, такъ называемый, шандорный полушлюзъ, а въ концѣ сооруженъ каменный Цнинскій шлюзъ.



Сиверсовъ каналъ—Сиверсовъ каналъ прорытъ былъ въ 1798—1803 г.г. для устраненія опасности перехода черезъ озеро Ильмень барокъ, приходящихъ съ Вышневолоцкой системы. Каналъ этотъ начинается отъ Мсты въ 8 $\frac{1}{2}$  в. отъ ея устья и оканчивается близъ истока Волхова. Мѣстность, по которой онъ проведенъ, низменна и затопляется весенними водами; каналъ открытый безъ шлюзовъ, длиною 8 $\frac{1}{2}$  в., шириною по дну 10 с., паденія не имѣеть.

Сиверсовъ каналъ имѣеть глубину болѣе нежели достаточную для судоходства (не менѣе 1 арш. и могъ-бы служить ему при какихъ угодно улучшеніяхъ судоходныхъ условій р. Мсты. Недостатокъ канала состоитъ въ томъ, что онъ, не имѣя шлюза со стороны р. Мсты, при весеннемъ вскрытіи рѣки отъ льда, когда горизонтъ ея поднимается несравненно выше и быстрѣе горизонта озера Ильмень, подвергается сильному разрушенію береговъ ледоходомъ и силою теченія воды. Кромѣ того Сиверсовъ каналъ, перерѣзывая низменную мѣстность, въ весеннее время соединяется съ разливами рѣки Волховца и подвергается очень сильному волненію, которымъ суда и гонки иногда сбиваются съ теченія. (рис. 211).

Вишерскій каналъ—Вслѣдствіе затопленія весенними водами Сиверсова канала и затруднительности въ такомъ случаѣ прохода по нему судовъ въ 1826 году начато было устройство Вишерскаго канала, который былъ оконченъ въ 1835 г. Онъ начинается отъ праваго берега р. Мсты въ 24 в. отъ ея устья и оканчивается у р. Вишеры, впадающей въ рукавъ Волхова, носящій названіе Малаго Волховца. Отъ Ильменскихъ разливовъ Вишерскій каналъ защищенъ дамбою Московскаго шоссе, возведенною одновременно съ прорытіемъ канала изъ вынутой подъ каналъ земли. Длина канала 14 $\frac{1}{2}$  в., ширина по дну 4 $\frac{1}{2}$  с., паденіе 0,5 с.; для возможности движенія встрѣчныхъ судовъ въ берегахъ канала сдѣланы заводи. Вишерскій каналъ устроенъ безъ шлюзовъ, но загражденъ отъ Мсты на 3-ей верстѣ гранитнымъ шандорнымъ водоспускомъ, который не допускаетъ въ каналъ весенней воды р. Мсты, пока она поднимается раньше, чѣмъ въ Волховѣ.



Рис. 211. Вишерскій и Сиверскій каналы.

Судоходство по каналу производится только весной, въ прочее-же время суда идутъ по Сиверсову каналу. (Рис. 211).

Сергучевскій, Соединительный, Веребскій, Лепельскій 1-й и 2-й и Чашницкій каналы—Всѣ эти каналы входятъ въ составъ такъ называемаго Березинскаго пути. Этотъ путь соединяетъ Днѣпръ съ Западной Двиной посредствомъ притоковъ ихъ—Березины и Уллы. Для соединенія послѣднихъ воспользовались находящимися на водораздѣлѣ этихъ рѣкъ озерами Манецъ и Плавю, которыя составляютъ раздѣльный бьефъ системы, служа вмѣстѣ съ тѣмъ и



главными резервуарами, питающими соединительный каналъ. Истекающій изъ озера Манецъ притокъ Березины Сергучъ составляетъ искусственную часть Днѣпровской вѣтви; рѣка эта, свободная на 9 верстахъ верхняго теченія, въ нижней части обойдена шлюзованнымъ каналомъ до Березины. Двинская вѣтвь системы направляется отъ водораздѣльныхъ озеръ по шлюзованному соединительному каналу до озера Берешты, по истекающей изъ этого озера р. Берештѣ, по деривационному Веребскому каналу, по р. Ессѣ, озерамъ Прошо и Лепельскому, соединеннымъ шлюзованнымъ каналомъ, и наконецъ по р. Уллѣ—притоку Западной Двины. (рис. 212).

Общее протяженіе системы отъ р. Березины до впаденія Уллы въ Западную Двину составляетъ 152 в., причемъ длина взводной части  $18\frac{1}{2}$  в., а спускной

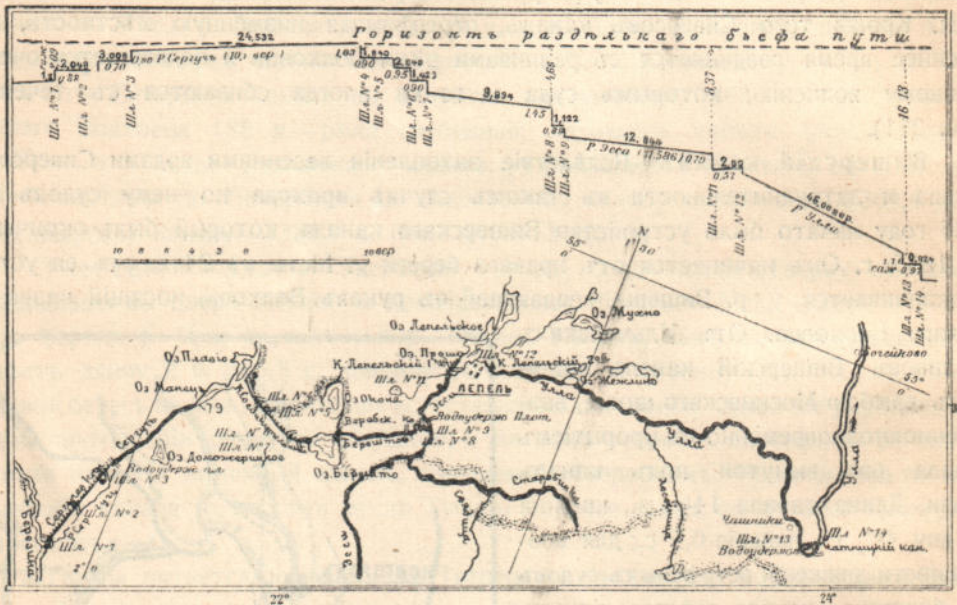


Рис. 212. Часть Березинскаго воднаго пути отъ р. Березины до Чашн. кан.

128 в. Возвышеніе раздѣльнаго бѣфа составляетъ: надъ устьемъ Сергучевскаго канала 3 с., надъ устьемъ р. Уллы—24,6 с.

Сергучевскій каналъ.—Сергучевскій каналъ имѣетъ длину 8 вер. 234,5 саж., ширину по дну 5 саж.; на немъ находится три камерныхъ шлюза, представляющихъ общее паденіе въ 2,5 саж.

Соединительный каналъ.—Каналъ этотъ, соединяющій оз. Плавіо съ оз. Берешта, имѣетъ 7 вер. 13 саж. длины и 8 саж. ширины по дну. Четырьмя камерными шлюзами каналъ раздѣленъ на 5 бѣфовъ, изъ которыхъ верхній длиною 350 с. принадлежитъ раздѣльной части системы. Грунтъ мѣстности, по которой проходитъ каналъ, торфяной; глубина канала весьма неодинакова—мѣстами достигаетъ 0,80 с., мѣстами же, какъ на примѣръ выше шлюза IV, всего 0,30 с.; бичевники низкіе, откосы мѣстами повреждены.

Веребскій каналъ.—Веребскій каналъ соединяетъ сплавную часть р. Берешты въ обходъ нижней, несплавной ея части, съ р. Ессою; каналъ имѣетъ длину 2 в. 229 с., а ширину по дну 5 саж. Глубина по фарватеру доходитъ до







0,70 с. Веребскій каналъ имѣтъ два камерныхъ шлюза VIII и IX. Ниже шлюза IX каналъ входитъ въ р. Ессу.

1-й Лепельскій каналъ.—Каналъ этотъ соединяетъ озеро Прошо съ озеромъ Лепельскимъ. Длина канала 0,46 в.; ширина по дну 8 с. На каналѣ имѣется шлюзъ XI.

2-й Лепельскій каналъ.—Каналъ этотъ—дериваціонный, длиною 0,22 в., шириною по дну 6 с. Онъ обходитъ верхнюю часть р. Уллы при выходѣ ее изъ Лепельскаго озера. На каналѣ имѣется полушлюзъ XII.

Чашницкій каналъ.—Чашницкій каналъ длиною 1,13 в., шириною по дну 6 с. Въ Чашницкомъ каналѣ первоначально было построено 2 шлюза.

Тихвинскій каналъ.—Тихвинскій каналъ составляетъ раздѣльную часть Тихвинской системы. Судоходный путь по Тихвинской системѣ имѣтъ общее протяженіе отъ Рыбинска до Петербурга 862 в.; въ составъ его входятъ слѣдующія части: Волжская вѣтвь, длиною 438 в., заключаетъ въ себѣ—Волгу отъ Рыбинска до устья Мологи протяженіемъ 31 в., Мологу до устья Чагоды (195 в.), Чагоды до впаденія въ нее Горюна (157 в.), р. Горюнъ, оз. Ваканское, р. Сомино, оз. Сомино и р. Валчину до Нижегородскаго шлюза (52,5 в.). Раздѣльный бьефъ длиною 7 в. 199 с. заключаетъ въ себѣ: соединительный каналъ отъ Нижегородскаго шлюза, преграждающаго р. Валчину до оз. Крупина (1 в. 119 с.), оз. Крупино (250 с.), соединительный каналъ отъ оз. Крупина до оз. Лебедина (3 в. 381 с.), оз. Лебедино (1 в. 222 с.), часть рѣки Тихвинки отъ оз. Лебедина до Кіевскаго шлюза (227 с.).

Невская вѣтвь длиною 417 в. заключаетъ въ себѣ: р. Тихвинку съ находящимися на пути озерами Эглино и Озерское (154 в.), р. Сясь отъ впаденія Тихвинки до Сяьскаго канала (88 в.), Сяьскій каналъ (10 в.), р. Неву (61 в.) (рис. 213).

Раздѣльный бьефъ системы питается двумя водохранилищами—озерами Пятино и Долгомощенскимъ. Ширина каналовъ по дну около 10 саж. глубина отъ 1 до 1,5 арш.

Соединительный каналъ Обь-Енисейскаго воднаго пути.—Мысль о соединеніи непрерывнымъ воднымъ путемъ громаднѣйшихъ рѣкъ Сибири—Оби и Енисея явилась очень давно. Благопріятное расположеніе ихъ притоковъ невольно наводило на мысль о соединеніи ихъ каналомъ. Послѣ цѣлаго ряда попытокъ остановились наконецъ на слѣдующемъ направленіи пути: р. Кеть, притокъ Оби протяженіемъ около 600 в.; притокъ Кети р. Озерная протяженіемъ 12 в., затѣмъ рѣки—Ломоватая и Язевая; послѣдняя вытекаетъ изъ озера Бѣлаго. Это озеро представляетъ раздѣльный бьефъ системы. Далѣе идетъ искусственный каналъ протяженіемъ 7,35 в., соединяющій озеро съ рѣкою Малый Касъ, затѣмъ р. Малый Касъ и, наконецъ, р. Большой Касъ протяженіемъ 198 в., впадающая въ р. Енисей. Ширина канала и входящихъ въ систему рѣчекъ проектированы были въ 9 с. по дну но затѣмъ ввиду сокращенія ассигнованій были сдѣланы въ 6 саж. Приступлено было къ работамъ въ 1883—4 гг., но отпущено было вмѣсто потребныхъ 10 милліоновъ лишь 600.000 руб. Благодаря этому путь не былъ приведенъ въ то состояніе, которое намѣчалось проектомъ, и въ настоящее время находится въ слѣдующемъ видѣ: средняя часть пути отъ устья р.



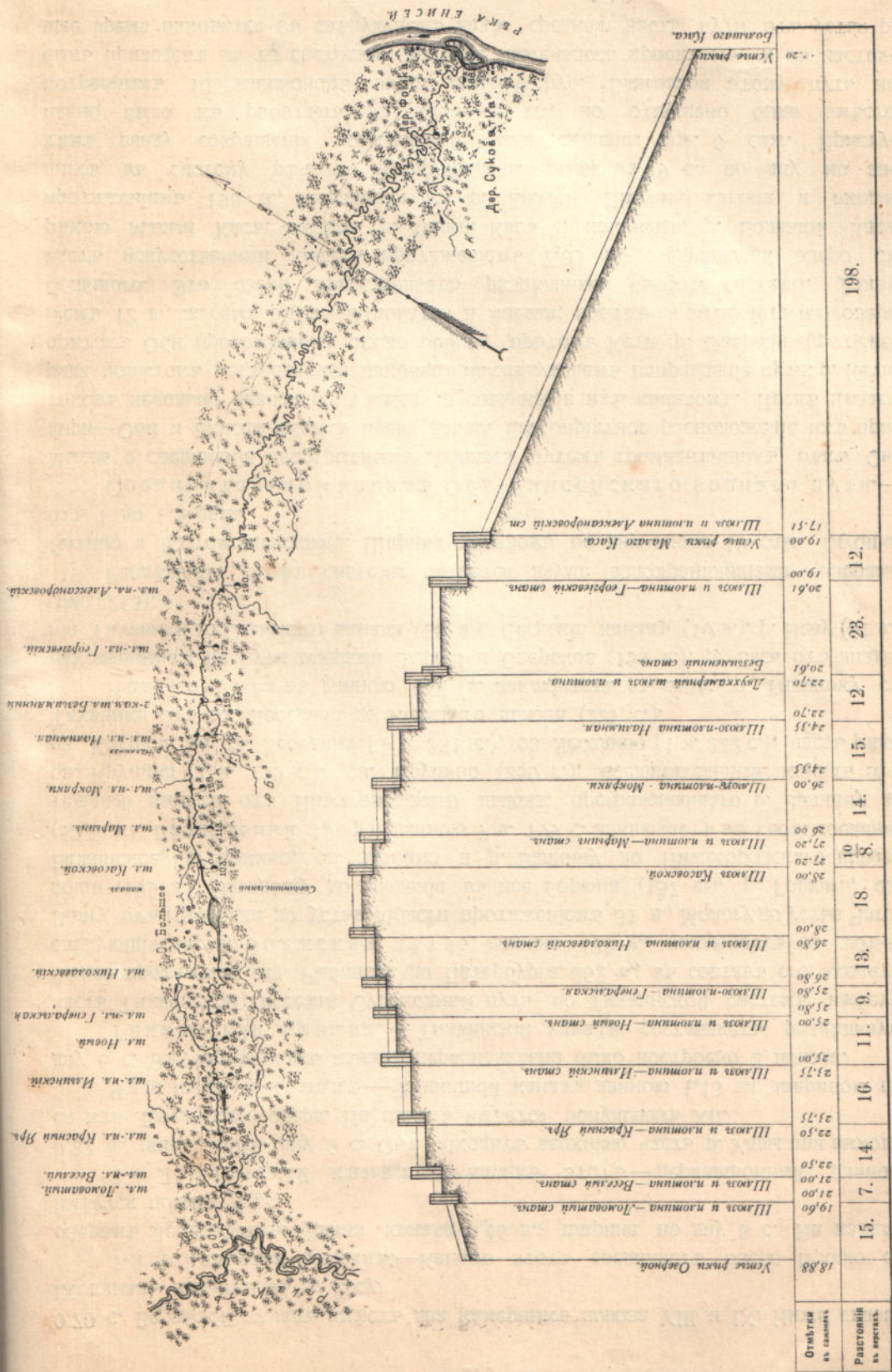


Рис. 214. Общій планъ и схематическая профиль Обь-Енисейскаго воднаго путя.



Ломоватой до устья р. М. Каса, протяженіемъ около 130 в., совершенно закончена для пропуска судовъ 10—12 саж. длины и  $3\frac{1}{2}$  с. ширины при осадкѣ въ 5 четв. Рѣки Озерная съ одной стороны и Б. Касъ съ другой находятся почти въ естественномъ видѣ, и проводъ по нимъ судовъ вышеуказанныхъ размѣровъ возможенъ только въ весеннюю воду. Въ настоящее время Обь—Енисейскій водный путь практическаго значенія почти не имѣетъ во-первыхъ потому, что онъ не законченъ, во-вторыхъ, если-бы даже онъ и былъ законченъ теперь, то размѣры его шлюзовъ не соотвѣтствуютъ требованіямъ современнаго сибирскаго судоходства. Само собой разумѣется, что значеніе этого пути, если-бы онъ былъ цѣлесообразно построенъ и отвѣчалъ современному судоводству, было-бы громадно. На рисункѣ 214-мъ видны всѣ составныя части и продольный профиль Обь—Енисейскаго воднаго пути.

Судоходные и желѣзнодорожные пути. Сравненіе стоимости перевозки по водѣ и по желѣзной дорогѣ—Если какой вопросъ вызывалъ большіе споры и даже создалъ цѣлую литературу, такъ это, конечно, вопросъ о совмѣстномъ существованіи и относительномъ режимѣ судоходныхъ путей и желѣзнодорожныхъ. Оправдывается-ли существованіе ихъ рядомъ? Слѣдуетъ-ли передѣлывать или создавать новые судоходные пути? Слѣдуетъ-ли даже сохранять тѣ, которые существуютъ, и не лучше-ли было-бы, какъ предлагали это въ различное время защитники исключительно желѣзныхъ дорогъ, засыпать каналы и на мѣсто ихъ уложить рельсы.

Мы не будемъ здѣсь заниматься изслѣдованіемъ этого вопроса, который до сихъ поръ не можетъ считаться исчерпаннымъ, но скажемъ о немъ только нѣсколько словъ, безъ которыхъ не считаемъ возможнымъ закончить настоящей трудъ. Прежде всего, чтобы сдѣлать правильное сравненіе между стоимостью перевозки по водѣ и по желѣзнодорожному пути, необходимо быть очень осторожнымъ въ своихъ выводахъ.

Для примѣра возьмемъ французскіе каналы. Благодаря особенному режиму судоходныхъ путей во Франціи стоимости перевозки по водѣ слагаются не изъ тѣхъ-же элементовъ, какъ стоимости перевозокъ по желѣзной дорогѣ. На первыхъ не лежатъ расходы по ремонту, по возобновленію и по маневрамъ съ судоходными сооружениями, также на нихъ не падаютъ проценты и погашеніе капитала, затраченнаго на первоначальное устройство. Но здѣсь дѣло идетъ о цѣнахъ, дѣйствительно платимыхъ публикой.

Чтобы сдѣлать правильную оцѣнку той экономіи, которую можетъ дать перевозка по водѣ, слѣдуетъ сравнивать не только соотвѣтственные тарифы за тоннокилометръ, но необходимо учитывать то удлиненіе пути, которое водный путь почти всегда представляетъ сравнительно съ желѣзнодорожнымъ.

Приведенная ниже таблица указываетъ для нѣкотораго числа городовъ, между которыми перевозки весьма интенсивны, соотвѣтственное разстояніе какъ по желѣзнодорожному, такъ и по водному пути.

Изъ нижеслѣдующей таблицы видно, что относительное удлиненіе колеблется въ предѣлахъ отъ 17 до 59<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Такимъ образомъ, чтобы можно было сравнивать цѣны, платимыя на водѣ, съ аналогичными цѣнами на желѣзныхъ дорогахъ, необходимо первыя увеличивать пропорціонально удлиненію, которое представляетъ этотъ путь по водѣ для раз-



НАИМЕНОВАНИЕ ГОРОДОВЪ.	Разстояніе		Удлиненіе	
	по желѣзн. дорогѣ.	по водѣ.	абсолют- ное.	относи- тельное.
Парижъ (Виллеттъ) Дюнкеркъ . . . . .	кил. 305	кил. 451	кил. 146	0.48
» » Кале . . . . .	295	454	159	0.54
» » Бетюнъ . . . . .	231	368	137	0.59
» » Валянсьенъ . . . . .	250	315	65	0.26
» » Руанъ . . . . .	140	220	80	0.57
Парижъ (Турнелль) Нанси . . . . .	353	414	61	0.17
» » Дижонъ . . . . .	315	398	83	0.26
» » Ліонъ (Бургонъ) . . . . .	512	639	127	0.25
» » Ліонъ (Бурбонъ) . . . . .	507	643	136	0.27

стоянія. Цѣна фрахта на французскихъ каналахъ колеблется, какъ мы указывали выше, около 0,01 фран. за тонну-километръ (близко къ  $\frac{1}{150}$  съ пудоверсты).

Соотвѣтственныя преимущества и недостатки водныхъ и желѣзнодорожныхъ путей. Изъ предыдущаго видно, что экономія, получаемая при перевозкѣ по водѣ, приведенная къ своей настоящей величинѣ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ длиннѣе путь. Дѣйствительно, экономія въ 0,01 фран. за тонну-километръ на протяженіи 100 километръ, т. е. 1 франкъ за весь пробѣгъ не можетъ имѣть большого значенія въ торговлѣ; совсѣмъ другое получается, если пробѣгъ равенъ 1000 килом. и общая экономія дойдетъ до 10 фр. Съ другой стороны эта экономія можетъ имѣть весьма различное значеніе сообразно стоимости товара. Если дѣло идетъ о дорогомъ товарѣ, то уменьшеніе стоимости на 10 фр. окажется мало важнымъ; наоборотъ, если дѣло идетъ о товарахъ низкой стоимости, напримѣръ, объ углѣ, о строительныхъ матеріалахъ, о минералахъ, объ удобреніяхъ, то это уменьшеніе будетъ оказывать большое вліяніе на торговлю и обезпечивать этимъ товарами рынки, которыхъ безъ этого они были-бы лишены.

Итакъ мы приходимъ къ выводу, что перевозка по водѣ является особенно выгодной для большихъ разстояній для товаровъ низкой стоимости.

Желѣзнодорожный путь имѣетъ тройное преимущество передъ воднымъ—быстроту, регулярность и возможность отправленія товара небольшими партіями. Но эти преимущества, на которыхъ главнымъ образомъ базируются противники водныхъ путей, при ближайшемъ разсмотрѣніи требуютъ нѣкоторой оговорки.

Что касается до быстроты и регулярности, то при специальныхъ тарифахъ, примѣняемыхъ на практикѣ для малоцѣнныхъ грузовъ, онѣ уже не таковы, чтобы съ ними не могли соперничать водные пути. Примѣромъ можетъ служить Общая Компанія Судоходства, которая устроила между Парижемъ и Ліономъ (по линіи Бургонъ) срочные рейсы, благодаря которымъ продолжительность перевозки оказалась равной 11—12 десят. что мало разнится отъ сроковъ доставки желѣзнодорожнымъ путемъ при специальныхъ тарифахъ.

Необходимость получать товаръ сразу большими партіями вынуждаетъ пользующихся воднымъ путемъ дѣлать значительные запасы заблаговременно и, слѣдовательно, вкладывать въ эти запасы болѣе значительные капиталы. Отсюда



является некоторая потеря, которая уменьшает экономію, получаемую при перевозкѣ воднымъ путемъ.

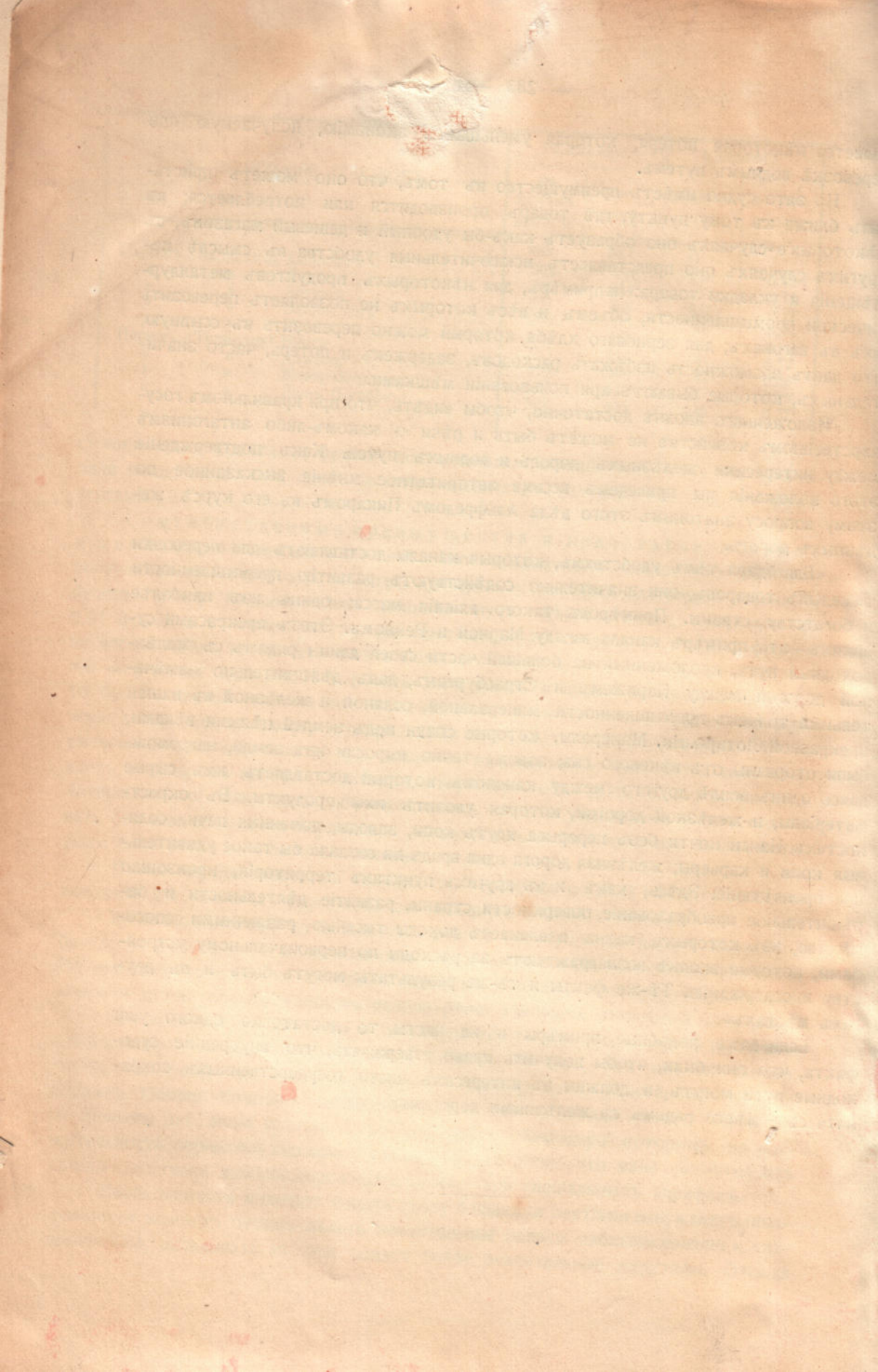
Но зато судно имѣетъ преимущество въ томъ, что оно можетъ приставить ближе къ тому пункту, гдѣ товаръ производится или потребляется; въ некоторыхъ случаяхъ оно образуетъ какъ-бы удобный и дешевый магазинъ, въ другихъ случаяхъ оно представляетъ исключительныя удобства въ смыслѣ погрузки и укладки товара: напримѣръ, для некоторыхъ продуктовъ металлургической промышленности, объемъ и вѣсъ которыхъ не позволяетъ перевозить ихъ въ вагонахъ; для зерноваго хлѣба, который можно перевозить въ сыпную, что даетъ возможность избѣжать расходовъ, задержекъ и потерь, часто значительныхъ, которые бываютъ при пользованіи мѣшками.

Изложеннаго вполне достаточно, чтобы видѣть, что при правильномъ государственномъ хозяйствѣ не можетъ быть и рѣчи о какомъ-либо антагонизмѣ между интересами желѣзныхъ дорогъ и водныхъ путей. Какъ подтвержденіе этого положенія мы приведемъ весьма авторитетное мнѣніе высказанное по этому вопросу знатокомъ этого дѣла Альфредомъ Пикаромъ въ его курсѣ желѣзныхъ дорогъ.

«Благодаря тѣмъ удобствамъ, которыя каналы доставляютъ для перевозки тяжелыхъ товаровъ, они значительно содѣйствуютъ развитію промышленности и богатству страны. Примѣровъ такого вліянія масса; одинъ изъ наиболѣе яркихъ—это примѣръ канала между Марной и Рейномъ. Этотъ прекрасный судноходный путь, проложенный на большей части своей длины рядомъ съ желѣзною дорогой между Парижемъ и Страсбургомъ, далъ дѣйствительно замѣчательный толчекъ промышленности минеральной, соляной и желѣзной въ нашей прекрасной Лотарингіи. Минералы, которые спали подъ землею цѣлыми вѣками, были оторваны отъ вѣкового сна; заводы точно выросли изъ земли, нагромождаясь одинъ возлѣ другого между каналомъ, который доставляетъ имъ сырые матеріалы, и желѣзною дорогой, которая увозитъ ихъ продукты. Въ окрестностяхъ Нанси почти безъ перерыва идутъ копи, заводы, доменные печи, соляныя копи и карьеры; желѣзная дорога одна врядъ-ли создала бы такое удивительное процвѣтаніе. Здѣсь, какъ и въ другихъ пунктахъ территоріи, произошло рѣшительное преобразованіе поверхности страны, развитіе дѣятельности и богатства, изъ которыхъ казна извлекаетъ доходы тысячею различными способами, которые вполне вознаграждаютъ за расходы по первоначальному устройству и содержанію. Тѣ-же факты и тѣ-же результаты могутъ быть и въ другихъ мѣстахъ».

Если даже подобные примѣры и не часты, то достаточно одного уже факта, что они были, чтобы получить право утверждать, что внутренніе судноходные пути могутъ и должны въ интересахъ чисто государственныхъ сохранить свое мѣсто рядомъ съ желѣзными дорогами.







группированы всѣ данныя, необходимыя для расчета металлических покрытій, что чрезвычайно важно при составленіи проектов.

**Желѣзные мосты.** Обработка, сборка и установка. Сост. **И. Прокофьевъ**. Препод. Имп. Моск. Техн. и Имп. Моск. Инженерн. Училищъ. 405 стр. съ 421 рис. въ текств. 1911, ц. 5 р.

Содержаніе: Обработка мостового желѣза. Сборка и установка мостовъ: доставка и установка пролетныхъ строеній въ цѣломъ видѣ, производство сборки пролетныхъ строеній на мѣстѣ установки, сборные подмосты, установка пролетныхъ строеній на мѣсто путемъ разнаго рода надвиганій, поднятіе и опусканіе пролетныхъ строеній и установка ихъ на опоры, сборка безъ подмостей, частные случаи сборокъ и установокъ. Указатель литературы. Технические условія на производство обработки, сборки и установки пролетныхъ строеній.

**Желѣзные балочные мосты** проф. **М. Черепашинскаго**. Часть практическая. X+163 стр. съ 126 рис. въ текств. 1903, ц. 2 р.

**Данныя для расчета мостовъ и строиній.** Сост. проф. **Г. Г. Кривошеинъ**. III+131 стр. съ 152 черт. 1910, ц. 1 р. 50 к.

**Плоскія междуэтажные покрытія и ихъ расчетъ.** Составил штатный преподаватель Николаевской Инженерной Академіи **Н. Житкевичъ**. 154 стр. съ 139 рис. 1900, ц. 2 р.

**Подпорныя стѣны.** Сочиненіе **М. Богдановскаго**. 38 стр. съ 16 чертѣж. 1900, ц. 80 к.

**Защита мостовыхъ быковъ отъ подмыва.** Настольная книжка для г.г. начальн. жел. дор. и шоссеиныхъ дистанцій и участк., инженер. **А. Гельфера**. 55 стр. съ 33 рис. 1903, ц. 70 к.

**Укатка шоссеиныхъ дорогъ.** Руков. для округовъ пут. сообщ. и для земствъ, инж. **А. Гельфера**. VI+115 стр. съ 36 рис. 1903, ц. 1 р. 40 к.

Считая своевременнымъ дать путевскимъ и земскимъ техникамъ шоссеиныхъ дорогъ возможность всесторонне ознакомиться съ теоріей и практикой устройства и содержанія щебеночной одежды, авторъ въ 11-ти главахъ излагаетъ результаты всесторонняго изученія дорожной техники. Въ книгѣ мы находимъ поясненныя прекрасными рисунками указанія объ исторіи укатки, каткахъ конныхъ и паровыхъ, производствѣ укатки, ея теоріи и стоимости. Паровая и конная укатка сравнивается по своему достоинству и стоимости и, наконецъ, приведена инструкция по испытанію и испытанію щебеночной коры шоссе. Внѣшній видъ книги безукоризненный.

«Инженеръ» № 3, 1904 г.

**Системы ремонта проѣздной части шоссеиныхъ дорогъ.** Руководство для округовъ путей сообщенія и для земствъ. Сост. **А. Гельферъ**. III+80 стр. съ 27 рис. 1903, ц. 1 р.

**Металлическія сваи.** въ примѣненіяхъ къ основаніямъ искусственныхъ сооруженій. Сост. **С. Н. Ванковъ**. IV+81 стр. съ 53 рис. 1898, ц. 1 р. 40 к.

**Современные землечерпательные снаряды и детали ихъ устройства.** Краткое описаніе нѣкоторыхъ снарядовъ, примѣняемыхъ для производства землечерпательныхъ работъ, инженера **С. С. Романовскаго**. 35 стр. in folio съ 16 рис. и 131 чертежемъ на XLIV листахъ. 1903, въ папкѣ ц. 10 р.

Настоящее изданіе представляетъ собою сборникъ чертежей нѣсколькихъ землечерпательницъ, землососовъ и паландовъ, построенныхъ въ послѣднее десятилѣтіе, большая часть которыхъ производитъ работы въ нашихъ портахъ, имѣетъ цѣлью дать лицамъ, занимающимся таковыми работами, нѣкот. практическое пособіе въ той области техники, которая еще очень бѣдна описаніями на русскомъ языкѣ. Предлагаемый сборникъ назначается, главнымъ образомъ, для лицъ, занимающихся портовыми и рѣчными работами.

**Гидравлика и гидравлическіе двигатели.** Лекціи, читанныя въ Техническ. Инстит. Имп. Николая I. проф. **А. М. Самусь**. 2-е исправл. и дополненн. изданіе. VI+321 стр. съ 238 черт. 1903, ц. 3 р. въ пер. 3 р. 50 к.

**Теоретическій курсъ гидравлики и гидравлическихъ двигателей.** **А. А. Бринса**, штатнаго преподавателя Михайловской Артиллерійской Академіи и Училища. IX+232 стр. съ 110 рис. 1892, ц. 2 р.

**Турбины.** Практическое руководство для техникумовъ, сельскихъ хозяевъ, владельцевъ заводовъ и мельницъ, составилъ **С. Н. Ванковъ**. VIII+147 стр. съ 45 рисунками, 1895, ц. 2 р., въ перепл. 2 р. 40 к.

**Водоснабженіе** проф. **М. Черепашинскаго**. VI+313 стр. съ 225 черт. 1903, ц. 3 р. 20 к., въ перепл. 3 р. 70 к.

Водопроводы.—Водоснабженіе городовъ.—Добыча воды.—Очистка воды.—Песочные фильтры.—Механическая фильтрація.—Запасные и напорные резервуары.—Водоснабженіе сѣтъ, трубы.—Конструкція сѣтъ.



**Техника очистки Kloacныхъ и сточныхъ водъ** про-  
двѣй, ирригаціей земель, угодій и фильтраціей черезъ почву. Для  
правдѣ и правительств. инспекц. сост. проф. **Ф. В. Дюнкельбергъ**  
инж. Л. И. Бершадскаго. III+122 стр. + III съ 12 черт. 1903, ц. 1 р. 20 к.

**Руководство къ химическому анализу сточныхъ**  
**K. Farnsteiner'a, P. Bittenberg'a и O. Korn'a.** Переводъ съ нѣм.  
ковича. IV+56 стр. съ 4 рис. 1903, ц. 90 к.

**Сопротивленіе матеріаловъ.** Курсъ Николаевскаго ниже  
проф. **Г. Г. Кривошеина.** Изд. 2-ое. 120 стр. съ 123 фиг. въ текстѣ.

**Сопротивленіе матеріаловъ.** Лекція, читанная въ Морск.  
Училищѣ Императора Николая I. **И. П. Лукинымъ.** VI+193 стр. съ  
2 р., въ перепл. 2 р. 50 к.

**Прочность и устойчивость сооружений.** Лекція по ст.  
никъ преподав. Донскаго политехн. инст. **Б. Н. Скабаланивича.** 18  
1910, ц. 2 р.

**Строительная механика.** Аналитическій и графическій ра-  
по новѣйшимъ методамъ, проф. **М. Черепашинскаго.** 2-е перес.  
изданіе. Ч. I. Основныя начала строительной механики; прямые брусья.  
205 черт. 1904, ц. 3 р. Ч. II. Стропильныя и мостовыя фермы. XIV+314  
1904, ц. 3 р. въ перепл. на 50 к. дороже.

**Способы опредѣленія сопротивленія стержней и**  
**стѣмъ ихъ.** Основы статики сооружений для слушателей технологичес-  
проф. **М. Н. Демьянова.** XII+333 стр. съ 133 рис. 1902, ц. 3 р.  
4 р. 10 к.

**Курсъ сопротивленія строительных матеріаловъ.**  
дентовъ технологическихъ институтовъ и для самообразованія, проф.  
**нова.** VIII+455 стр. съ 186 рис. 1900, ц. 4 р., въ перепл. 4 р. 50 к.

**Техническая механика неизмѣняемой системы.** Сост.  
**ренцъ.** Перев. съ нѣм. подъ ред. К. А. Акулова. XIII+679 стр.  
текстѣ. 1909, ц. 4 р.

**Статика.** Курсъ Иacol. Инженернаго Училища. Состав. **С. П. Бо-**  
тика неизмѣняемой системы, ученіе о центрѣ тяжести, и сопротивленіи  
простыхъ машинахъ. XII+288 стр. съ 100 прим. и задачами и 226 че-  
въ перепл. 3 р. 50 к.

**Статика сооружений.** Начальное руководство по балочнымъ ф-  
нымъ стѣнкамъ и сводамъ. Пособіе для начинающихъ изученіе строите-  
для офицеровъ инж. войскъ, техникувъ и студентовъ **С. П. Бобровъ**  
статикъ къ курсу статики Иacol. Инж. Училища. VIII+261 стр. съ 32 п-  
1906, ц. 3 р., въ перепл. 3 р. 50 к.

**Графическая статика сооружений,** проф. **Мюллеръ-Б-**  
съ 4-го нѣм. изд. проф. **Г. Г. Кривошеина.** 2-ое русск. изд. Т. I. X+505  
въ текстѣ и съ 7 табл. черт. 1908, ц. 5 р. Т. II. Ч. I, 2-ое русск. изд. V  
435 фиг. и 7 табл. 1910, ц. 5 р.

**Начала статики.** Лекція, читанная слушательницамъ женскихъ  
курсовъ проф. **А. Н. Митинскимъ.** VI+74 стр. съ 85 рис. 1906, ц. 90

**Термодинамика съ приложеніями къ газамъ, пара-**  
**вымъ машинамъ.** Сост. **А. Погодинъ.** перераб. 3-е изд. XII+206  
1912, ц. 3 р.

**Конструированіе и расчеты.** Пособіе при практическихъ  
структоровъ и обучающихся инж. **Г. Федеръ.** Перев. со 2-го нѣм. изд.  
Л. И. Бершадскаго. VI+534 стр. съ 970 фиг. и 9 табл. черт. 1904, ц. 5  
5 р. 80 к.

Книга эта является въ видѣ краткаго учебника или пособія; она  
одновременно молодымъ техникамъ руководствомъ въ школѣ при проекти-  
біемъ, и совѣтникомъ, сберегающимъ время, для старыхъ техникувъ на по-  
литической дѣятельности.

Такъ какъ книга эта съ другой стороны имѣетъ свою цѣль не т-  
знанія, но сообщать умѣнье учиться, то она даетъ возможность и лицамъ, в-  
спеціального техническаго образованія, дополнить свое познаніе и научить  
время относиться сознательно къ выполняемымъ ими работамъ.

Лишь тотъ техникъ, который пользуется опытомъ другихъ и кото-  
время не пренебрегаетъ и коммерческой стороною дѣла, быстро достиг-  
и сокращаетъ неизбежный для каждаго начинающаго «періодъ разочарова-

**Бесѣды о механикѣ,** заслуж. проф. **В. Л. Кирпичева.** IX  
227 фиг. 1907, ц. 2 р. 80 к. въ пер. 3 р. 30 к.